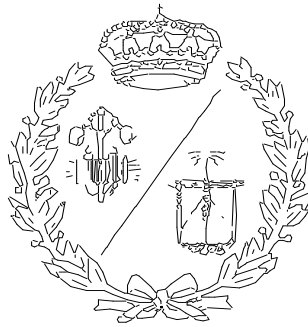


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA
ELÉCTRICA PARA UNA FÁBRICA DE DISCOS
DE FRENO**

**(Design of the electrical infrastructure for a
brake disc manufacturing plant)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Pablo García Peña

Julio 2025

RESUMEN

Este trabajo de fin de grado se centra en el diseño de la infraestructura eléctrica de una nave industrial destinada a la producción de discos de freno, e incluye también el dimensionamiento de una instalación solar fotovoltaica sobre la cubierta de la nave.

Para llevar a cabo este proyecto, se realizan los planos de las diferentes áreas de trabajo a partir de AutoCAD.

A través de los consumos planteados, se ha logrado dimensionar toda la instalación eléctrica de manera eficiente y alimentar a todos los equipos de la nave, incluyendo tanto el alumbrado en el interior de la nave como en el aparcamiento exterior.

Paralelamente se ha desarrollado la instalación solar fotovoltaica considerando el máximo número de paneles y respetando en todo momento la orientación óptima de los paneles.

En ambos diseños se han realizado los cálculos pertinentes a través de Excel, para completar los dimensionamientos y comprobar que se cumple con la normativa establecida.

PROJECT SUMMARY

This final degree project focuses on the design of the electrical infrastructure of an industrial building to produce brake discs and includes the sizing of a solar photovoltaic installation on the roof of the building.

To carry out this project, the drawings of the different work areas are made using AutoCAD.

Through the proposed consumptions, it has been possible to dimension the entire electrical installation in an efficient way and to feed all the equipment of the building, including both the lighting inside the building and the outside parking lot.

At the same time, the photovoltaic solar installation has been developed considering the maximum number of panels and always respecting the optimal orientation of the panels.

In both designs, the relevant calculations have been made through Excel, to complete the dimensioning and verify that it complies with the established regulations.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	13
1.1	OBJETIVOS	13
1.2	MOTIVACIÓN.....	14
1.3	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	15
1.3.1	Contexto técnico del proyecto	15
1.3.2	Infraestructura eléctrica	17
1.3.3	Instalación fotovoltaica	17
1.3.4	Compensación reactiva	18
1.4	ESTRUCTURA.....	18
2	NORMATIVA	20
2.1	APLICACIÓN DEL REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO PARA BAJA TENSIÓN (REBT) EN EL DISEÑO ELÉCTRICO DE LA NAVE INDUSTRIAL	20
2.2	NORMATIVA APLICABLE AL DISEÑO DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A RED	23
3	INSTALACIONES	24
3.1	EMPLAZAMIENTO DE LA NAVE	24
3.2	DIVISIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	25
3.2.1	Oficinas	25
3.2.2	Fabricación.....	26
3.2.3	Aparcamiento	28
3.2.4	Cubierta.....	28

3.2.5	Caseta exterior	29
3.3	ESTUDIO DE CARGAS.....	29
3.3.1	Oficinas	29
3.3.2	Fabricación.....	33
3.3.3	Aparcamiento	35
3.3.4	Cubierta.....	36
3.3.5	Caseta exterior	36
4	DIMENSIONAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA.....	38
4.1	CONSIDERACIONES PREVIAS	38
4.2	CRITERIOS DE CORRIENTE	39
4.3	CRITERIOS DE CAIDA DE TENSIÓN	42
4.4	TOMA DE TIERRA	43
4.4.1	Ubicación.....	44
4.4.2	Esquema de conexión.....	44
4.4.3	Elementos del sistema	45
4.4.4	Resistencia de puesta a tierra	46
4.5	DETERMINACIÓN DEL TIPO DE CONDUCTOR.....	46
4.5.1	Elección del tipo de conductor.....	46
4.5.2	Características del conductor	47
4.6	DETERMINACIÓN DEL TIPO DE CANALIZACIÓN	48
4.6.1	Elección del tipo de canalización.....	48

4.6.2	Características de las canalizaciones	49
4.7	DISTRIBUCIÓN DE CIRCUITOS	50
4.8	CÁLCULOS	54
4.8.1	Cálculo de intensidad	54
4.8.2	Cálculo de secciones	55
4.8.3	Cálculo de las caídas de tensión	56
4.9	TOMAS DE CORRIENTE	57
4.9.1	Tipos de tomas	57
4.9.2	Criterios técnicos aplicados	58
4.10	CUADRO ELÉCTRICO	59
4.10.1	Tipo de cuadro eléctrico	59
4.10.2	Componentes	59
4.11	PROTECCIONES	60
4.11.1	Protecciones del cuadro general	61
4.11.2	Protecciones de las tomas de corriente	62
4.12	OBSERVACIONES	63
5	COMPENSACIÓN REACTIVA	64
5.1	CONSIDERACIONES PREVIAS	64
5.2	BATERÍA DE CONDENSADORES	65
5.3	CÁLCULOS	66
5.4	OBSERVACIONES	71

6	DIMENSIONAMIENTO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	72
6.1	CONSIDERACIONES PREVIAS	72
6.2	TIPO DE INSTALACIÓN	73
6.3	MEDICIONES.....	74
6.4	ELECCIÓN DEL PANEL.....	75
6.5	ESTRUCTURA.....	77
6.6	DISPOSICIÓN.....	79
6.7	POTENCIA A INTALAR.....	82
6.8	AGRUPAMIENTOS.....	83
6.9	CÁLCULOS.....	84
6.10	INVERSOR.....	87
6.11	PROTECCIONES.....	89
6.12	EMPRESA ELÉCTRICA.....	90
6.13	AMORTIZACIÓN.....	91
6.14	OBSERVACIONES	92
7	CONCLUSIONES	94
7.1	CONCLUSIONES GENERALES	94
7.2	LÍNEAS FUTURAS.....	96
8	REFERENCIAS.....	98
9	ANEXOS	102
9.1	ANEXO 1: PRESUPUESTO	102

9.1.1	Presupuesto infraestructura eléctrica	102
9.1.2	Presupuesto instalación fotovoltaica	103
9.1.3	Presupuesto total	104
9.2	ANEXO 2: PLIEGO DE CONDICIONES	105
9.2.1	Definición y alcance del pliego	105
9.2.2	Condiciones y normas de carácter general	105
9.2.3	Condiciones particulares	106
9.3	ANEXO 3: TABLAS DE CÁLCULOS.....	109
9.3.1	Infraestructura eléctrica	109
9.3.2	Instalación fotovoltaica	132
9.4	ANEXO 4: PLANOS.....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disco de freno. [5]	15
Figura 3. Instalación eléctrica de una nave industrial. [12]	38
Figura 4. Esquema de conexión TN-S. [8]	45
Figura 5. Triángulo de potencias. [19]	64
Figura 6. Instalación solar de una empresa verde. [21]	72
Figura 7. Dimensiones de la cubierta en metros (vista planta). [Elaboración propia]	74
Figura 8. Dimensiones de la cubierta. Distancias en metros y ángulo en grados sexagesimales. (vista perfil). [Elaboración propia]	75
Figura 9. Panel solar seleccionado. [22]	76
Figura 10. Rail de sujeción escogido. [24]	78
Figura 11. Sistema de elevación escogido. [25]	78
Figura 12. Estructura de sujeción y elevación de los paneles. [25]	78
Figura 13. Disposición de los paneles. Distancias en metros y ángulos en grados sexagesimales (vista perfil). [Elaboración propia]	80
Figura 14. Disposición de los paneles (vista planta). [Elaboración propia]	81
Figura 15. Producción simulada en la página PVGIS. [4]	82
Figura 16. Dos cadenas de paneles de uno de los tramos. [Elaboración propia]	83
Figura 17. Inversor seleccionado. [27]	89
Figura 18. Estudio de la generación con los paneles coplanares y 8° de inclinación. [4]	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Disposición de la zona de oficinas. [Elaboración propia].....	25
Tabla 2. Disposición de la zona de fabricación. [Elaboración propia]	27
Tabla 3. Potencia activa consumida en cada sala de la zona de oficinas. [Elaboración propia]	31
Tabla 4. Potencia activa consumida en cada espacio de la zona de fabricación. [Elaboración propia]	34
Tabla 5. Potencia activa consumida en la zona de aparcamiento. [Elaboración propia]	36
Tabla 6. Potencia activa consumida en la caseta exterior. [Elaboración propia]	37
Tabla 7. Sección en función de las intensidades máximas admisibles para cables no enterrados. [8]	40
Tabla 8. Sección en función de las intensidades máximas admisibles para cables enterrados. [8]	41
Tabla 9. Factor de reducción en función del número de circuitos para cables no enterrados. [8]	41
Tabla 10. Factor de reducción en función del número de circuitos para cables enterrados.[8]	41
Tabla 11. Factor de corrección por temperatura para cables no enterrados. [8]	42
Tabla 12. Factor de corrección por temperatura para cables enterrados. [8]	42
Tabla 13. Relación entre las secciones de los conductores fase-protección.[8]	46
Tabla 14. Circuito 3. [Elaboración propia]	51
Tabla 15. Circuito 4. [Elaboración propia]	52
Tabla 16. Circuito 5. [Elaboración propia]	52

Tabla 17. Circuito 6. [Elaboración propia]	53
Tabla 18. Circuito 7. [Elaboración propia]	53
Tabla 19. Características de la batería de condensadores escogida. [20]	65
Tabla 20. Potencia reactiva consumida en la zona de oficinas. [Elaboración propia]	66
Tabla 21. Potencia reactiva consumida en la zona de fabricación. [Elaboración propia]	68
Tabla 22. Potencia reactiva consumida en el aparcamiento. [Elaboración propia] ..	70
Tabla 23. Potencia reactiva consumida en la caseta exterior.	70
Tabla 24. Características de la placa seleccionada. [22]	76
Tabla 25. Características del inversor. [27]	88
Tabla 26. Corrientes normalizadas para las protecciones PIA. [28]	90
Tabla 27. Presupuesto de la infraestructura eléctrica. [Elaboración propia]	102
Tabla 28. Presupuesto instalación solar. [Elaboración propia]	103
Tabla 29. Presupuesto final. [Elaboración propia]	104
Tabla 30. $\cos(\varphi)$ de todos las cargas e iluminación. [Elaboración propia]	110
Tabla 31. Intensidades de las cargas. [Elaboración propia]	112
Tabla 32. Intensidades de las tomas de iluminación. [Elaboración propia]	114
Tabla 33. Dimensionamiento del circuito 1. [Elaboración propia]	116
Tabla 34. Dimensionamiento del circuito 2. [Elaboración propia]	119
Tabla 35. Dimensionamiento del circuito 3. [Elaboración propia]	120
Tabla 36. Dimensionamiento del circuito 4. [Elaboración propia]	122

Tabla 37. Dimensionamiento del circuito 5. [Elaboración propia]	124
Tabla 38. Dimensionamiento del circuito 6. [Elaboración propia]	125
Tabla 39. Dimensionamiento del circuito 7. [Elaboración propia]	126
Tabla 40. Dimensionamiento del circuito 8. [Elaboración propia]	128
Tabla 41. Dimensionamiento del circuito 9. [Elaboración propia]	128
Tabla 42. Caídas de tensión de cada punto. [Elaboración propia]	129
Tabla 43. Resultados de corriente continua. Inversor 1. [Elaboración propia]	133
Tabla 44. Resultados de corriente continua. Inversor 2. [Elaboración propia]	134
Tabla 45. Resultados de corriente alterna. [Elaboración propia]	135

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es diseñar de forma detallada la infraestructura eléctrica de una nave industrial dedicada a la fabricación de discos de freno y realizar el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica sobre la cubierta con el propósito de generar electricidad y disminuir el consumo de la fábrica negociando con la compañía eléctrica correspondiente. Además, esta generación puede permitir a la fábrica acceder a ayudas relacionadas con el ODS 7 [1] y mejorar su imagen pública.

Específicamente, en el interior de la nave se pretende obtener los circuitos eléctricos necesarios junto con las secciones de cada uno para suministrar a todas las áreas de forma correcta. Sobre la cubierta, se busca acoplar el máximo número de paneles solares que nos permita maximizar la instalación y generar el máximo de energía posible.

Con este trabajo, se busca, en primer lugar, conocer de la forma más realista posible el montaje de una instalación eléctrica y fotovoltaica para este tipo de naves y entender el uso de cada uno de los componentes necesarios y, en segundo lugar, nos da la oportunidad de combinar infinidad de ideas para desarrollar el proyecto óptimo posible, lo cual nos hace entender a la perfección el área sobre el que trabajamos.

Durante la realización del trabajo se ha empleado el programa AutoCAD, desarrollado por Autodesk [2], para el dibujo de todos los planos de la nave, los esquemas eléctricos y la disposición de los paneles solares sobre la cubierta.

También se ha utilizado el programa Microsoft Excel, desarrollado por la empresa Microsoft [3], con el que han sido realizados todos los cálculos pertinentes.

Por último, se ha empleado la herramienta PVGIS [4], proporcionada por la Unión Europea, para asistir en los cálculos relacionados con la planta fotovoltaica.

De esta forma, se define de forma clara y limpia todos los dibujos y cálculos realizados durante el desarrollo del trabajo.

1.2 MOTIVACIÓN

Mi interés por el diseño y planificación de los espacios de trabajo, así como los conocimientos sobre los circuitos eléctricos de baja tensión adquiridos durante estos años de estudio, me han llevado a la elección del diseño de la infraestructura eléctrica de una nave industrial como tema para realizar mi trabajo de fin de grado.

Este proyecto permite aplicar de forma práctica conocimientos adquiridos en varias asignaturas del grado como electrotecnia, energías renovables y dibujo, haciendo uso de herramientas de diseño como el programa de AutoCAD. Supone una experiencia para mí que me permite aproximarme a la realidad con proyectos de este tipo.

El diseño de la infraestructura eléctrica se trata de un pilar fundamental de cualquier local o instalación ya que es el sistema que alimenta todos los equipos, garantizando su funcionamiento de forma continua y manteniendo unas condiciones seguras y eficientes. Además de alimentar a todos los equipos, se debe realizar de forma óptima y minimizar las pérdidas.

En un contexto como el actual, donde se hace tanto hincapié en el uso de energías renovables y actuar contra el cambio climático, es una gran idea la incorporación de una instalación fotovoltaica en la cubierta de la nave que permita satisfacer todos estos aspectos y poder conocer una de las formas de generación de energía más utilizadas hoy en día. La inclusión de una estructura para la carga eléctrica de vehículos y de una carretilla elevadora eléctrica refuerza la idea y el esfuerzo de la empresa por involucrarse en este contexto.

Por otra parte, se ha optado por la elección de dedicar la nave a la fabricación de discos de freno ya que se trata de un proceso muy evidente, transparente y sencillo. Esto nos ha dado la oportunidad de poder diferenciar cada etapa para alimentarlas correctamente y realizar los cálculos de manera más ordenada.

Además, los discos de freno son un producto con un gran futuro ya que se encuentran en constante evolución tanto en su diseño como en su composición debido a los grandes avances que se están realizando en la seguridad vial. Su aplicación está ligada a la automoción por lo que siempre va a estar garantizada su demanda.

1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.3.1 Contexto técnico del proyecto

Uno de los puntos más importantes de este trabajo, es el diseño eléctrico de la nave. Para ello, se ha necesitado conocer el uso que se le iba a dar a la nave ya que en función de su uso requiere unas características u otras. Entonces, se ha elegido situar una empresa de fabricación de discos de freno, ya que permite definir la maquinaria necesaria, sus cargas eléctricas asociadas y, en consecuencia, dimensionar adecuadamente la instalación eléctrica.

Los discos de freno son un producto con una gran demanda en el mercado actual y son un componente fundamental en el sistema de frenado de los vehículos. Sirven para reducir la velocidad de las ruedas y detener el vehículo. Esta reducción de velocidad se consigue mediante la fricción entre las pastillas de freno y el disco.



Figura 1. Disco de freno. [5]

La mayoría de ellos están hechos de hierro fundido, sin embargo, también los hay de carbono o cerámicos, principalmente en los vehículos de alto rendimiento o de competición.

El hierro fundido, por su parte, tiene una serie de ventajas que lo hace un material idóneo para este producto [6]. Entre ellas destacan:

- Posee una gran facilidad para moldear, lo que facilita el proceso de moldeo.

- Tiene una gran resistencia a la compresión y al desgaste, permitiendo alargar su vida útil en los vehículos particulares.
- Alta retención del calor. Esta es una ventaja muy importante porque los discos, como consecuencia de la fricción, adquieren temperaturas muy elevadas.
- Bajo precio debido a la simplicidad de su producción.

Vista la importancia que tienen, es muy importante realizar un proceso de fabricación preciso y rápido. Por ello, se ha contemplado un proceso de fabricación formado por 6 etapas: fundición, tratamiento térmico, mecanizado, rectificado, verificado y grabado laser. [7]

El proceso comienza con la etapa de fundición donde se funde el material recibido y se vierte sobre unos moldes cilíndricos con un espesor determinado. De ahí se obtienen las piezas en bruto.

Posteriormente, las piezas obtenidas se someten a un tratamiento térmico, que mejora las propiedades mecánicas y la estructura interna del material, de cara a las condiciones a las que serán sometidas.

A continuación, a la pieza se le realiza una serie de orificios para favorecer la refrigeración y evitar el sobrecalentamiento. Esto se realiza mediante un torno que, en función del tipo de disco, trabajará de una forma u otra.

Llegado a este punto, la pieza ya estaría casi terminada, pero es necesario que pase por una rectificadora para eliminar las rebabas y obtener la rugosidad perfecta en la superficie.

Con la pieza terminada, se realiza un proceso de verificado revisando todas las piezas mediante operarios para comprobar que la pieza esta correcta y cumple con parámetros marcados.

Para terminar, se graba sobre el disco toda la información pertinente mediante una grabadora laser.

1.3.2 Infraestructura eléctrica

Se trata de una parte fundamental del proyecto y consiste en diseñar toda la infraestructura eléctrica de la nave industrial donde se ubica la empresa de discos de freno. Partiendo de las características de cada área de trabajo y de los consumos de todos los equipos, se comienza a realizar todo el dimensionamiento de la instalación. La zona de fabricación de la zona de oficinas está separada ya que los consumos no son los mismos. La instalación contempla varios circuitos para poder alimentar todos los equipos de forma equilibrada y no sobredimensionar la instalación. Se determina la corriente que circula por cada circuito, y con ello la sección de cada tramo y la caída de tensión en cada punto.

El cuadro general se ubica en una caseta exterior separada 4 metros de la nave por temas de seguridad.

1.3.3 Instalación fotovoltaica

Otra de las partes del proyecto es el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica sobre la cubierta de la nave que permita reducir el consumo eléctrico de la red y dar un enfoque verde a la empresa.

Consiste en, a partir de las dimensiones de la cubierta, que es a un solo agua, instalar el máximo número de paneles solares que quepan. Se ubican totalmente al sur y con el ángulo de inclinación óptimo para obtener la máxima captación de energía. Se trata la elección de los paneles en base a sus características y posteriormente se realiza toda la distribución de estos.

También se diseña los circuitos por los que traslada la energía eléctrica en corriente continua desde los paneles hasta los inversores y se explica la elección del inversor en base a las necesidades requeridas.

Se determina la caída de tensión en cada punto y la corriente que sale del inversor para, en función de la corriente que se obtenga, elegir las correctas protecciones.

1.3.4 Compensación reactiva

Este bloque del proyecto se enfoca en la mejora y optimización del rendimiento energético de la instalación por medio de la reducción de energía reactiva. Para ello se calcula toda la potencia reactiva de la maquinaria y equipos que conforman la instalación, y en base a este resultado se instala una batería de condensadores de las características requeridas.

1.4 ESTRUCTURA

El presente trabajo se estructura en 8 partes diferenciadas que permiten explicar de forma clara y justificada todo el desarrollo del proyecto. Para facilitar la comprensión de los contenidos, se procede a explicar brevemente las 8 partes de las que consta:

Introducción

Se pone en contexto al lector del proyecto que se va a realizar, se explican los objetivos planteados y las motivaciones que me han llevado a escoger este tema.

Normativa

Se expone el conjunto de normativas que incumben en la realización del proyecto, tanto en el dimensionamiento eléctrico como en el dimensionamiento fotovoltaico.

Instalaciones

Recoge las características de la parcela y explica cada zona que compone la instalación. También se detallan las cargas que hay en cada zona.

Dimensionamiento de la infraestructura eléctrica

Desarrolla el proceso completo de diseño de la infraestructura eléctrica explicando detalladamente cada paso y mostrando los cálculos realizados.

Compensación reactiva

Justifica la necesidad de compensar la potencia reactiva y explica cómo se realiza y los cálculos que se han necesitado.

Dimensionamiento instalación fotovoltaica

Desarrolla el proceso completo de diseño de la instalación fotovoltaica explicando detalladamente cada paso y mostrando los cálculos realizados.

Conclusiones

Recoge los aprendizajes adquiridos, mi punto de vista del proyecto realizado y las posibles mejoras futuras que se puedan realizar en las instalaciones.

Referencias

Incluye todas las fuentes consultadas y la documentación complementaria que se ha utilizado.

Anexos

Incluye un presupuesto del proyecto junto un pliego de condiciones. También contiene las tablas de cálculos realizadas y los planos dibujados de las instalaciones y los circuitos.

2 NORMATIVA

2.1 APLICACIÓN DEL REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO PARA BAJA TENSIÓN (REBT) EN EL DISEÑO ELÉCTRICO DE LA NAVE INDUSTRIAL

El diseño y dimensionamiento de la infraestructura eléctrica de la nave se ha realizado siguiendo los criterios establecidos por Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8], aprobado por el Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002 actualizado según RD 560/2010, RD 1053/2014, Reglamento Delegado 364/2016 (CPR), RD 244/2019, RD 542/2020, RD 298/2021, RD 244/2019, RD 542/2020, RD 298/2021, RD-ley 29/2021, RD 450/2022, RD 145/2023.

Además, se han tenido en cuenta las correspondientes Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC-BT), así como la Guía técnica de aplicación del REBT, y el borrador de 2025 pendiente de aprobación.

El REBT establece un conjunto de normas de obligado cumplimiento para la regulación de las instalaciones eléctricas de baja tensión con el fin de garantizar la seguridad, calidad y eficiencia energética.

Las instrucciones técnicas aplicadas en este proyecto son:

- **ITC-BT-01. Terminología.**

En ella se explica los términos que se utilizan en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8] y otros conceptos esenciales para el diseño de una instalación eléctrica.

- **ITC-BT-02. Normas de referencia en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8].**

Establece una serie de normas y criterios básicos que deben cumplirse como base y ejecución del proyecto ante cualquier instalación de baja tensión.

- **ITC-BT-08. Sistemas de conexión del neutro y sus fases.**

Define los diferentes sistemas de conexión del neutro en función del tipo de conexión del neutro a tierra y de cómo se protejan las masas. Describe cómo se conecta el neutro de la fuente de alimentación y las masas de la instalación

a tierra, lo que a su vez determina las medidas de protección contra contactos eléctricos y sobreintensidades.

- **ITC-BT-09. Instalaciones de alumbrado exterior.**

Esta instrucción se aplica sobre instalaciones de alumbrado exterior como bien puede ser el aparcamiento exterior de la nave industrial. Este reglamento tiene como objetivo garantizar la seguridad frente a riegos eléctricos o ambientales y asegurar la correcta instalación.

- **ITC-BT-10. Previsión de cargas para suministros en baja tensión.**

Establece los criterios que se han de seguir para estimar la potencia mínima demandada en una instalación de baja tensión. Trata de garantizar la correcta y segura utilización y conexión de los receptores, tanto de los que hay instalados como de los que se puedan añadir.

- **ITC-BT-11. Acometidas.**

Esta instrucción informa sobre las condiciones técnicas y constructivas de las acometidas, que son las líneas que conectan la red eléctrica pública con la instalación interior. Específicamente define el tipo de acometida (aérea, subterránea, etc.), las características del cableado (sección, aislamiento, etc.), las protecciones y las pautas de instalación.

- **ITC-BT-13. Cajas generales de protección.**

Marca las características y ubicación que debe tener la caja general de protección, ubicadas entre la acometida y la línea general de alimentación. Estas cajas permiten proteger la instalación frente a sobrecargas o cortocircuitos.

- **ITC-BT-14. Línea general de alimentación (LGA).**

Define los requisitos de diseño de la línea general de alimentación incluyendo el trazado, los tipos de canalizaciones o los materiales. La línea general de alimentación enlaza la caja general de protecciones con el cuadro de contadores.

- **ITC-BT-16. Contadores. Ubicación y sistemas de instalación.**

Estable las condiciones y normas para la instalación de los contadores eléctricos. Se detalla tanto la ubicación de ellos, como los sistemas de instalación y las condiciones de accesibilidad. En este proyecto se prevé una centralización de contadores accesible conforme a las reglas que se marcan.

- **ITC-BT-17. Dispositivos generales e individuales de mando y protección.**

En ella se establece la ubicación que deben adoptar los controles de mando y protección, y las instrucciones de instalación en una instalación eléctrica. Regula aspectos como las protecciones que se deben utilizar, y en qué zona se deben situar.

- **ITC-BT-18. Instalaciones de puesta a tierra.**

Esta instrucción abarca todas las instalaciones de puesta a tierra. Explica las obligaciones que deben cumplir estas instalaciones, incluyendo las tomas de tierra, los bornes, los conductores de protección y los conductores de tierra.

- **ITC-BT-19. Instalaciones interiores. Preinscripciones generales.**

Esta instrucción es muy amplia y engloba gran parte del dimensionado eléctrico realizado. Es fundamental para el diseño y dimensionamiento de los conductores. Incluye los criterios que se han de seguir para calcular la sección de los conductores en base a la corriente que soportan, define los colores de cada una de las fases de los conductores y las caídas de tensión permisibles.

- **ITC-BT-20. Instalaciones interiores. Sistemas de instalación.**

Esta instrucción es en parte complementaria a la anterior. Se centra en los sistemas de instalación de las canalizaciones para los conductores. Detalla el tipo de canalización, la posición de esta y ciertos criterios en función de los conductores que contenga la canalización.

- **ITC-BT-22. Protección contra sobreintensidades.**

Informa de las exigencias que se han de cumplir para proteger a la instalación de sobreintensidades y asegurar la continuidad del servicio. Incluye criterios para la elección de interruptores, fusibles y demás elementos de protección.

- **ITC-BT-23. Protección contra sobretensiones.**

Esta instrucción es muy similar a la anterior. Sin embargo, en esta se tratan las medidas que se han de cumplir para proteger a la instalación de sobretensiones permanentes y transitorias. Pretende evitar los daños en sistemas electrónicos ante descargas atmosféricas o conmutaciones de las redes y defectos de estas.

- **ITC-BT-52. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos.**

Establece las pautas para la instalación y funcionamiento de infraestructuras de recarga de vehículos eléctricos. Cubre aspectos claves como la capacidad de cada punto de carga o las protecciones de estos.

Paralelamente al REBT, también se ha considerado la normativa UNE-EN 12464-1 para la iluminación interior. Esta establece las necesidades de iluminación interior para lugares de trabajo como los niveles de luz o el color de la luz.

2.2 NORMATIVA APLICABLE AL DISEÑO DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A RED

El diseño de la instalación fotovoltaica sobre la cubierta de la nave industrial se ha realizado contemplando una serie de leyes que se muestran a continuación:

Real Decreto ley 244/2019, de 5 de abril [9]

Regula las condiciones administrativas técnica y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, incluyendo la instalación de placas solares fotovoltaicas. Contempla aspectos clave como el autoconsumo con y sin excedentes, la eliminación del “impuesto al sol”, la simplificación de tramitación y las normas de conexión.

Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) – Real Decreto 842-2002 [8]

A parte de las instrucciones técnicas ya citadas anteriormente, que muchas se comparten con el diseño fotovoltaico, también se ha tenido en cuenta la ITC-BT-40 sobre instalaciones generadoras de baja tensión. Esta instrucción establece las regulaciones que se han de tomar para la conexión a red, que es nuestro caso, o uso en sistemas aislados. Permite garantizar la correcta interconexión la red eléctrica.

Ley 24/2013, de 26 de diciembre [10]

Es la normativa principal que regula el consumo, producción y distribución de energía eléctrica en España. Se centra en controlar el suministro eléctrico evitando grandes fluctuaciones y también regula las condiciones económicas.

3 INSTALACIONES

3.1 EMPLAZAMIENTO DE LA NAVE

La instalación se sitúa en la localidad de San Miguel de Meruelo, barrio La Vallejada, Cantabria, España. La parcela corresponde al polígono nº3, parcela 27, con referencia catastral 2821901VP5122S0001FF. Las coordenadas donde se ubica son 43° 27' 36" y -3° 34' 48", siendo respectivamente latitud Norte y longitud Oeste.



Figura 2. Parcela sobre la que se ubica la nave industrial. [11]

La distancia que separa a la instalación respecto a los principales núcleos urbanos es de 39 km con Santander y 76 km con Bilbao, teniendo ambas conexión marítima. Además, también está Torrelavega a 54 km, ciudad con menor núcleo urbano pero que también tiene cierto nivel de industrialización.

El principal acceso a ella se tiene a través de la salida 185 de la autovía A8 sentido Santander-Bilbao, o en la salida 184 de la autovía A8 sentido Bilbao-Santander. También se puede acceder desde la nacional CA-141 tomando el desvío con la carretera CA-454.

La parcela presenta una superficie total de 5441 m² y está clasificada como suelo urbano para uso industrial. En la actualidad se presenta sin ninguna edificación, lo cual permite construir desde cero y con la opción que más se adecue a las

necesidades del diseño. Este hecho, además permite ubicar la cubierta al sur y optimizar la instalación fotovoltaica.

La ubicación escogida, se encuentra en una zona industrial, de manera que se facilita el acceso de cara a la logística del material. Al mismo tiempo, se permite dar otro acceso para los vehículos particulares de los trabajadores.

En los alrededores de la zona, se encuentra, a un lado, una nave industrial perteneciente a la empresa Carrocerías y Neumáticos San Miguel SL, y al otro otra nave industrial más alejada perteneciente a la empresa Lácteos de Santander SAU. Ambas edificaciones no provocan ninguna sombra relevante que pueda afectar a la instalación fotovoltaica.

3.2 DIVISIÓN DE LAS INSTALACIONES

3.2.1 Oficinas

El sector de oficinas se ubica en el interior de la nave, posee una entrada principal peatonal y una salida de emergencia al exterior. También tiene conexión con la zona de fabricación a través de una puerta. Este área está dedicado a la gestión administrativa y diseño del producto.

Ocupa un total de 623,7 m² y tiene una altura mínima de 5 m en un lado y una máxima de 8,8 m en el otro. Todas las salas que lo componen dan al exterior recibiendo luz natural, excepto la sala dedicada al mantenimiento que es interior. Con esto se consigue una mayor predisposición y rendimiento por parte de los empleados.

A continuación, se muestra en la Tabla 1 cada una de las salas que se sitúan en este espacio. Esta tabla va a asociada al Plano 2 y Plano 3, disponibles en el anexo 4.

Tabla 1. Disposición de la zona de oficinas. [Elaboración propia]

Sala	Uso	Área (m ²)
1	Despacho del director general	22,52
2	Despacho del subdirector	17,99

3	Oficinas para comerciales y administrativos	38,6
4	Oficinas para ingenieros de mantenimiento	28,17
5	Oficinas para ingenieros de diseño	29,18
6	Aseos masculinos	12,68
7	Aseos femeninos	12,68
8	Comedor y sala de descanso	67,57
9	Sala de reuniones	45,62
10	Sala de mantenimiento	47,45
11	Vestuario masculino	33,63
12	Vestuario femenino	33,63
23	Pasillo	70,88
24	Pasillo	31
25	Pasillo	9,44
26	Pasillo	21,35
27	Pasillo	38,72
27	Pasillo	38,72

3.2.2 Fabricación

El sector de fabricación está dedicado de forma íntegra a la fabricación del producto, en nuestro caso, los discos de freno. También incluye el almacenaje de material. Posee una entrada grande para recibir y entregar el material de los camiones, y comunica con la zona de oficinas a través de una puerta peatonal. De igual manera, también tiene una salida de emergencia.

Ocupa un total de 545,82 m² y al igual que en la zona de oficinas, tiene una altura mínima de 5 m en un lado y una máxima de 8,8 m en el otro. Toda la superficie es diáfana de manera que facilita el proceso de fabricación y el constante contacto entre las diferentes fases. Sin embargo, sí se ha dividido en varias zonas de cara a la realización de los cálculos y también delimitar las áreas de trabajo a los empleados. Toda la superficie recibe luz natural a través de unos grandes ventanales.

A continuación, se muestra en la Tabla 2, cada una de las áreas que se han delimitado en este espacio. Esta tabla va asociada al Plano 2 y Plano 3, disponibles en el anexo 4.

Tabla 2. Disposición de la zona de fabricación. [Elaboración propia]

Sala	Uso	Área (m²)
13	Aseos masculino	12,47
14	Aseos femeninos	12,47
15	Mecanizado	26,1
16	Tratamiento térmico	26,1
17	Fundición	26,1
18	Recepción del material	34,8
19	Rectificado	26,1
20	Verificado	26,1
21	Grabado	26,1
22	Almacenaje	34,8
28	Pasillo	92,31
29	Pasillo	80,75

30	Pasillo	32,3
30	Pasillo	32,3
31	Pasillo	8,7
31	Pasillo	8,7
31	Pasillo	8,7
31	Pasillo	8,7
31	Pasillo	8,7
31	Pasillo	8,7

3.2.3 Aparcamiento

El aparcamiento está situado en la parte posterior de la nave, lindando con la zona de fabricación. Se utiliza principalmente para los vehículos particulares de los empleados y personal relacionado con la empresa. A través de él, se da acceso también al transporte para la llegada de material y recogida del producto final.

Tiene un área total de 261,9 m², y en él se incluye una pequeña zona dedicada para 3 puestos de carga eléctricos. Dos de ellos son para la carga de coches eléctricos, y el otro para la carga de la carretilla elevadora que se utiliza en el área de fabricación para trasladar material de una zona a otra.

3.2.4 Cubierta

La cubierta de la nave se emplea para la instalación de paneles solares, los cuales permiten generar energía.

Dispone de 1228,34 m² de superficie disponible para la instalación fotovoltaica y posee una inclinación de 8°. La cubierta es a un solo agua y orientada al sur, y esto está hecho para poder maximizar la generación de energía. Por ello en su lado más alto se tiene 8,8 m de altura desde el suelo, y en su lado más bajo 5 m.

El acceso se da a través de unas escaleras situadas en la parte lateral de la nave, a la altura de la salida de emergencia del sector de oficinas. Este acceso se encuentra restringido con una llave.

3.2.5 Caseta exterior

Esta caseta está dividida en dos, en una parte se ubica un espacio para un potencial centro de transformación, y en la otra el cuadro eléctrico general de la nave junto con los inversores de la instalación fotovoltaica, la batería de condensadores y la toma a tierra del edificio.

Se localiza en el exterior de la nave cerca de la fachada principal, separada de esta 4 m. Se ha escogido ese lugar por cuestiones de seguridad, ya que de esta forma, en el caso de ocurrir un accidente, este sucede en el exterior de la nave y no en el interior.

La caseta cuenta con 15 m² para cada parte y 3 m de altura. Ambas partes tienen su propia puerta acceso y entre ellas también existe otra puerta que solo se utiliza en caso de ser estrictamente necesario. En caso de que se acabase instalando un centro de transformación, las llaves de ambas puertas con acceso al CT (la exterior y la interior) quedarían exclusivamente en manos de la compañía distribuidora.

A la hora de realizar cálculos, ha sido asignada con el número de sala 33, para poder establecer un orden y ser más claros.

3.3 ESTUDIO DE CARGAS

Las instalaciones se dividen en varias áreas, tal y como se ha mostrado en la sección anterior. Cada área está comprendida por varias salas adaptadas a la función que se les ha asignado, Cada sala estará conformada por equipos electrónicos y máquinas diferentes adaptadas a la tarea correspondiente. La potencia de la iluminación LED a instalar es de 0,75 W/m². A continuación, se analiza cada una de esas salas.

3.3.1 Oficinas

En la zona de oficinas predomina la potencia de ordenadores e iluminación. En todas las salas se han considerado un par de tomas de corriente a cada lado con bases

múltiples. Con una se cubre la potencia mínima necesaria para la sala y con la otra se deja un 45% extra para otros usos, seguridad y mejoras futuras.

A continuación se detallan las características de cada una de las salas que conforman el área de oficinas.

Despacho del director general: Espacio individual para realizar tareas de gestión ejecutivas de alto nivel. Está equipado con un ordenador y una impresora, y cuenta con iluminación LED y climatización.

Despacho del subdirector: Espacio individual destinado a realizar tareas de gestión ejecutivas de apoyo al director general. Está equipado con un ordenador, y cuenta también con iluminación LED y climatización. Las tareas de impresión las realiza en la oficina de administración.

Oficinas para gestión administrativa y comercial: Sala dedicada a toda la gestión administrativa y al sector comercial. Contiene 8 puestos de trabajo de los cuales puede que no todos estén ocupados, simplemente se dejan por un posible progreso de la empresa. Tiene a su disposición 8 ordenadores y 6 impresoras. Además está dotada de iluminación LED y climatización.

Oficina para ingenieros de mantenimiento: En ella se lleva a cabo el seguimiento y la gestión de todos los equipos y sistemas utilizados. Tiene 5 puestos disponibles y cuenta con 5 ordenadores de mayor potencia, iluminación LED y climatización.

Oficina para ingenieros de diseño: En esta oficina se realiza los diferentes diseños de los productos a fabricar. Cuenta con 5 puestos disponibles y posee 5 ordenadores de alta potencia. También tiene iluminación LED y climatización.

Aseos: Zona de uso sanitario para los empleados de las oficinas. Posee iluminación LED y climatización. Las cargas son bajas.

Comedor y sala de descanso: Espacio reservado para el descanso de los empleados. Es amplio y está dotado de iluminación LED y climatización. Tiene una zona con pequeños electrodomésticos (microondas, cafetera, nevera...) y mesas donde poder comer. Atesora cargas muy pequeñas.

Sala de reuniones: Sala de uso ocasional utilizada para encuentros de personal, visitas o presentaciones. Está equipada con un sistema audiovisual acorde a las dimensiones de la sala, iluminación LED y climatización.

Sala de mantenimiento: Área utilizada para el almacenaje de herramientas, repuestos y equipos auxiliares. También almacena equipos de limpieza. En ella se realizan trabajos de mantenimiento diariamente y dispone de iluminación LED y climatización.

Vestuarios: Espacio destinado para todo el personal antes y después de la jornada laboral. Incluye taquillas y duchas, separadas para hombres y mujeres. Cuenta con iluminación LED y climatización.

Como se ve, en la zona de oficinas se ha considerado la climatización lo cual aporta una carga más que se refleja en la sala 34 (no está situada en ninguna sala, pero es una forma de identificarla). El sistema de climatización se centra en un equipo principal ubicado en la entrada, y a partir de ahí se canaliza el aire a cada sala, donde existen unos receptores para controlar el flujo de aire.

En la Tabla 3, se muestran la potencia activa consumidas en cada sala.

Tabla 3. Potencia activa consumida en cada sala de la zona de oficinas. [Elaboración propia]

Sala	Potencia iluminación LED (W)	Potencia Ordenadores (W)	Potencia Impresora (W)	Potencia TV (W)	Potencia Máquina aire (W)	Potencia mínima total (W)	Potencia total (10% seguridad-15% otras cargas-20% futuras mejoras) (W)
1	16,89	500	150	0	0	666,89	966,9905

2	13,4925	500	0	0	0	513,492 5	744,5641 25
3	28,95	4000	900	0	0	4928,95	7146,977 5
4	21,1275	5000	0	0	0	5021,12 75	7280,634 875
5	21,885	5000	0	0	0	5021,88 5	7281,733 25
6	9,51	0	0	0	0	9,51	13,7895
7	9,51	0	0	0	0	9,51	13,7895
8	50,6775	0	0	0	0	50,6775	73,48237 5
9	34,215	0	0	160	0	194,215	281,6117 5
10	35,5875	0	0	0	0	35,5875	51,60187 5
11	25,2225	0	0	0	0	25,2225	36,57262 5
12	25,2225	0	0	0	0	25,2225	36,57262 5
23	53,16	0	0	0	0	53,16	77,082
24	23,25	0	0	0	0	23,25	33,7125
25	7,08	0	0	0	0	7,08	10,266

26	16,0125	0	0	0	0	16,0125	23,21812 5
27	29,04	0	0	0	0	29,04	42,108
27	29,04	0	0	0	0	29,04	42,108
34	0	0	0	0	15000	15000	21750

3.3.2 Fabricación

En la zona de fabricación predomina la potencia de las máquinas, y dado que se trata de un proceso industrial de gran volumen, la potencia requerida es muy alta. Al igual que en la zona de oficinas, en cada fase de trabajo se ha instalado un par de tomas de corriente con bases múltiples. Una para cubrir la potencia mínima requerida por las máquinas e iluminación, y otra para cubrir un 45% extra para otros usos como mantenimiento, futuras ampliaciones y seguridad.

A continuación se detallan las características de cada una de las áreas que conforman la zona de fabricación.

Recepción del material: Esta zona se dedica a la recepción y almacenaje del material. Se sitúa junto a la puerta grande posterior de la nave para facilitar la descarga de los camiones. La zona posee iluminación LED y climatización.

Fundición: En este espacio se realiza la fundición del metal para obtener la pieza en bruto. Cuenta con una máquina de fundir que consume una potencia muy elevada. También dispone de iluminación LED y climatización.

Tratamiento térmico: Zona donde se aplica un tratamiento a la pieza para mejorar sus propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la fatiga térmica o la dureza. En este área se dispone de una máquina de tratamiento térmico, iluminación LED y climatización.

Mecanizado: Espacio empleado para realizar las operaciones de torneado y fresado sobre la pieza. La zona cuenta con iluminación LED y climatización, y para las operaciones utiliza una máquina de torneado.

Rectificado: En el área de rectificado se trabaja la superficie para que quede en perfecto estado. Está equipada con una máquina rectificadora, iluminación LED y climatización.

Verificado: En este espacio únicamente se realiza una inspección del producto sin ninguna intervención de maquinaria especializada, es decir, se realiza manualmente con el propio personal. Por ello, únicamente está dotado de iluminación LED y climatización.

Grabado laser: Es un área dedicada a la grabación de la información correspondiente en el producto. Por ello, cuenta con una grabadora laser, además de iluminación LED y climatización.

Almacenaje de producto final: Es la zona donde se empaqueta el producto final y se almacena para ser enviado. Está situada próxima a la puerta posterior para facilitar la carga. Dispone de iluminación LED y climatización.

En esta zona también se ha considerado un sistema de climatización idéntico al de la zona de oficinas. La diferencia que tiene este es que se encuentra ubicado en la entrada de la zona de fabricación.

En la Tabla 4, se muestran la potencias activas consumidas en cada espacio.

Tabla 4. Potencia activa consumida en cada espacio de la zona de fabricación. [Elaboración propia]

Sala	Potencia iluminación LED (W)	Potencia Máquina (W)	Potencia Máquina aire (W)	Potencia mínima Total (W)	Potencia total (10% seguridad- 15% otras cargas- 20% futuras mejoras) (W)
13	9,3525	0	0	9,3525	13,561125
14	9,3525	0	0	9,3525	13,561125
15	19,575	15000	0	15019,575	21778,38375

16	19,575	14400	0	14419,575	20908,38375
17	19,575	25000	0	25019,575	36278,38375
18	26,1	0	0	26,1	37,845
19	19,575	5000	0	5019,575	7278,38375
20	19,575	0	0	19,575	28,38375
21	19,575	240	0	259,575	376,38375
22	26,1	0	0	26,1	37,845
28	69,2325	0	0	69,2325	100,387125
29	60,5625	0	0	60,5625	87,815625
30	24,225	0	0	24,225	35,12625
30	24,225	0	0	24,225	35,12625
31	6,525	0	0	6,525	9,46125
31	6,525	0	0	6,525	9,46125
31	6,525	0	0	6,525	9,46125
31	6,525	0	0	6,525	9,46125
31	6,525	0	0	6,525	9,46125
31	6,525	0	0	6,525	9,46125
34	0	0	15000	15000	21750

3.3.3 Aparcamiento

El aparcamiento está disponible para todos los empleados y da acceso a los vehículos pesados de transporte de material. Cuenta con un alumbrado LED y tres puestos de carga para la carretilla elevadora y dos vehículos particulares.

A parte de la potencia mínima necesaria para satisfacer estos consumos, se ha tenido en cuenta un 45% extra de potencia para futuras ampliaciones, otros usos y seguridad.

En la Tabla 5, se muestran las potencias activas consumidas en cada espacio.

Tabla 5. Potencia activa consumida en la zona de aparcamiento. [Elaboración propia]

Sala	Potencia iluminación LED (W)	Potencia puesto de carga toro (W)	Potencia puesto de carga vehículos (W)	Potencia mínima Total (W)	Potencia total (10% seguridad-15% otras cargas-20% futuras mejoras) (W)
32	198	10000	10000	20198	29287,1

3.3.4 Cubierta

La cubierta de la nave se reserva para la instalación de los paneles solares. En este caso, la potencia y configuración de estos se detallan más adelante, en el Capítulo 5: Dimensionado de instalación fotovoltaica.

3.3.5 Caseta exterior

En la caseta que se sitúa en el exterior de la nave, la única carga que existe es la de iluminación junto con la de los inversores y demás equipos. La parte de la caseta donde se ubica el potencial centro de transformación corresponde íntegramente a la distribuidora eléctrica, y la otra parte sí que se ilumina con un circuito independiente que sale del cuadro eléctrico. Se establecen 2 tomas de corriente, y de igual manera que en las otras zonas, se instala un 45% extra de potencia para futuras mejoras, otros usos y seguridad.

En la Tabla 6, se muestran la potencia activa consumida en la sala.

Tabla 6. Potencia activa consumida en la caseta exterior. [Elaboración propia]

Sala	Potencia iluminación LED (W)	Potencia inversores y demás equipos (W)	Potencia mínima Total (W)	Potencia total (10% seguridad-15% otras cargas-20% futuras mejoras) (W)
33	11,25	10000	10011,25	14516,3125

4 DIMENSIONAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA

4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

El dimensionamiento de la infraestructura eléctrica es la base principal de este proyecto, y en este apartado se realiza el todo el diseño de las líneas eléctricas de baja tensión de la nave. Además, también se ilumina el pequeño aparcamiento situado en los exteriores de la nave.

Este diseño incluye tanto las cargas previstas en cada una de las salas, explicadas en los apartados anteriores, como la iluminación de estas y, a partir de ahí, se desarrolla toda la instalación. Se consideran los factores de potencia de cada carga y se evalúan la corriente que circula por cada tramo y la caída de tensión que existe en cada uno de ellos. También se determina la sección de los conductores y el tipo de canalización a emplear.

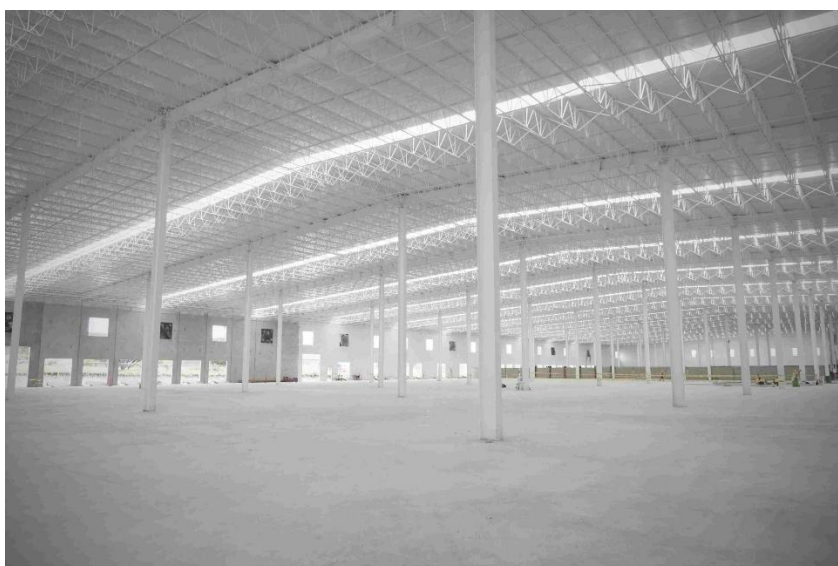


Figura 2. Instalación eléctrica de una nave industrial. [12]

Para el diseño, se ha dividido la instalación en varios circuitos según las características de las cargas y los que la normativa exige. En este caso, las cargas van por un circuito, que será más de uno debido a que hay máquinas con un consumo alto de potencia, y la iluminación por otro.

Los circuitos son llevados por bandejas vistas por el techo desde la entrada de la nave hasta cada sala. Desde la caseta exterior donde se ubica el cuadro general hasta la entrada de la nave, el cableado es subterráneo.

Todo ello se ha realizado considerando en todo momento la normativa impuesta por el REBT, según las instrucciones técnicas citadas en el Capítulo 2: Normativa.

4.2 CRITERIOS DE CORRIENTE

La intensidad de corriente es un parámetro fundamental a la hora de dimensionar la instalación eléctrica debido a que afecta de manera directa a las secciones de los conductores, las protecciones, la seguridad y la eficiencia de la instalación.

Al tratarse de una nave industrial donde existen grandes cargas con una elevada potencia, la determinación de la corriente en cada uno de los tramos es vital para el perfecto desarrollo de la instalación.

A mayor potencia instalada en la nave, mayor será la corriente que se debe transportar por los circuitos eléctricos y, como consecuencia de esto: i) aumentará el calentamiento provocando un posible sobrecalentamiento, lo cual pone en riesgo la seguridad de la instalación; ii) aumentará la caída de tensión en todos los puntos; iii) se requerirán protecciones más costosas para preservar la instalación, y iv) obligará a recurrir a conductores de mayor sección, lo que aumenta el coste.

Por lo tanto, como la corriente es especialmente crítica en entornos industriales donde se trabaja con máquinas y sistemas que consumen mucha energía, es importante realizar una estimación correcta de ella para poder certificar la seguridad requerida y garantizar una larga durabilidad y una eficiencia óptima.

Para establecer la intensidad de corriente en los distintos circuitos de la instalación se han establecido una serie de criterios técnicos:

- Tensión de servicio: Se ha tomado como referencia para toda la instalación tanto la zona de oficinas como la zona de fabricación sistemas trifásicos. Y conforme a lo establecido en la ITC-BT-01 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8], se define que la tensión de alimentación en sistema trifásicos debe ser la tensión entre fases, en nuestro caso va a ser 400 V.

- Distribución de cargas: Se ha considerado separar principalmente los circuitos de carga (maquinaria, dispositivos electrónicos...) y la iluminación LED en dos circuitos independientes tal y como se refleja en el ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8]. Esta división facilita el mantenimiento, mejora la seguridad eléctrica y permite una mayor flexibilidad en la protección de cada tipo de receptor
- Sección del conductor: En base a la corriente obtenida en cada tramo, se procede a seleccionar la sección de conductor. Esto se lleva a cabo bajo los criterios establecidos en la ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8]. En ella se especifica el tipo de sección que se debe utilizar en función de la corriente que se tenga, tanto en cables enterrados como no enterrados.

Tabla 7. Sección en función de las intensidades máximas admisibles para cables no enterrados. [8]

Sección (mm ²)	I _{max} (A)
1,5	17,5
2,5	24
4	32
6	41
10	57
16	77
25	100
35	124
50	151
70	193
95	234

Tabla 8. Sección en función de las intensidades máximas admisibles para cables enterrados. [8]

	Sección mm ²	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630
Cu	2 XLPE	58	77	100	130	155	183	225	265	305	340	385	440	500	570	660	735
	3 XLPE	48	64	82	105	130	155	190	225	260	300	335	400	455	530	610	710

- Agrupación de circuitos: Según el número de circuitos que se agrupan sobre una misma canalización, se ha aplicado un factor de reducción para realizar el cálculo de la sección del conductor en base a lo reflejado en la ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8]. En ella se refleja el factor de reducción que se debe aplicar en cada caso.

Tabla 9. Factor de reducción en función del número de circuitos para cables no enterrados. [8]

Ref.	Disposición de cables contiguos	Número de circuitos o cables multiconductores								
		1	2	3	4	6	9	12	16	20
1	Empotrados o embutidos	1,00	0,80	0,70	0,70 ⁽⁶⁾	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
2	Capa única sobre pared, suelo o superficie sin perforar	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	Sin reducción adicional para más de 9 circuitos o cables multiconductores		
3	Capa única fijada bajo techo	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60			
4	Capa única en una bandeja perforada vertical u horizontal	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70			
5	Capa única con apoyo de bandeja escalera o abrazaderas (collarines) etc.	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80			

Tabla 10. Factor de reducción en función del número de circuitos para cables enterrados. [8]

Nº de cables	Distancia entre conductos			
	Tubos en contacto	0,25 m	0,50 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90
7	0,57	0,76	0,80	0,88
8	0,54	0,74	0,78	0,88
9	0,52	0,73	0,77	0,87
10	0,49	0,72	0,76	0,86
11	0,47	0,70	0,75	0,86
12	0,45	0,69	0,74	0,85
13	0,44	0,68	0,73	0,85
14	0,42	0,68	0,72	0,84
15	0,41	0,67	0,72	0,84
16	0,39	0,66	0,71	0,83
17	0,38	0,65	0,70	0,83
18	0,37	0,65	0,70	0,83
19	0,35	0,64	0,69	0,82
20	0,34	0,63	0,68	0,82

R. térmica terreno: 2,5 K·m/W.
Tª del terreno: 25 °C.
Profundidad inst.: 0,70 m.



- Factor de temperatura: En este caso se aplica un factor de corrección en función de la temperatura ambiente en la sala. En nuestro caso, al considerar una temperatura ambiente máxima de 40°C para el interior de la superficie y de 25°C para el terreno, nuestro factor de corrección por temperatura ambiente es 1 en ambos casos. Esto se refleja en la ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8].

Tabla 11. Factor de corrección por temperatura para cables no enterrados. [8]

Aislamiento	Temperatura ambiente (°C)										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
PVC	1,40	1,34	1,29	1,22	1,15	1,08	1	0,91	0,82	0,70	0,57
XLPE o EPR	1,26	1,23	1,19	1,14	1,10	1,05	1	0,96	0,90	0,83	0,78

Tabla 12. Factor de corrección por temperatura para cables enterrados. [8]

Aislamiento	Temperatura ambiente (°C)						
	10	15	20	25	30	35	40
PVC	1,16	1,11	1,06	1	0,94	0,88	0,81
XLPE o EPR	1,11	1,08	1,05	1	0,97	0,93	0,86

4.3 CRITERIOS DE CAIDA DE TENSIÓN

La tensión eléctrica es otro de los parámetros fundamentales del dimensionamiento de la instalación eléctrica ya que es la fuerza impulsa la corriente eléctrica a través de los circuitos. En las instalaciones trifásicas como es el caso de nuestro proyecto, la tensión de servicio habitual es de 400 V.

En instalaciones de gran tamaño, como pueda ser esta nave industrial, los recorridos del cableado son extensos y, por ese motivo, es importante controlar adecuadamente las caídas de tensión que existen en cada tramo.

Cuanto mayor sea la distancia del cableado, existirán mayores pérdidas de energía a lo largo del conductor como consecuencia de su resistividad. Esta pérdida de energía se ve reflejada como caída de tensión a lo largo de él. Despendiendo de qué valor de caída de tensión se dé, se pueden provocar varios efectos como un mal funcionamiento de equipos al no llegarle la tensión suficiente, pérdidas energéticas y sobrecalentamiento que pueden provocar un incendio o la reducción de la eficiencia de la instalación.

Otra de las razones que se pueden dar es que, al existir corrientes elevadas, como se ha comentado anteriormente, se aumente la caída de tensión.

Por todo ello, como pueden existir casos en los que el cableado sea algo extenso, o la corriente sea elevada, casos que se pueden dar en el proyecto, controlar la caída de tensión es especialmente importante.

Para establecer la caída de tensión en los distintos circuitos de la instalación, se han establecido una serie de criterios técnicos:

- Caída de tensión de las cargas: Para verificar la caída de tensión sobre todas las cargas se considera la ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8]. En ella se expone que para instalaciones industriales la caída de tensión máxima admisible debe ser del 6,5% para cargas y demás usos.
- Caída de tensión de la iluminación: En este caso, la caída de tensión para la iluminación se considera también según la ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8]. En ella se explica que para instalaciones industriales la caída de tensión máxima admisible debe ser del 4,5% para el alumbrado.

4.4 TOMA DE TIERRA

La toma de tierra es un elemento imprescindible y obligatorio en cualquier instalación eléctrica debido a la seguridad que ofrece en el funcionamiento de todos los sistemas eléctricos de la nave. El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8] exige su instalación en cualquier tipo de infraestructura eléctrica.

Es un componente que permite la conexión física a tierra (suelo) con todos los componentes metálicos de la instalación eléctrica. Su función principal es actuar cuando aparecen corrientes eléctricas no deseadas como fugas debidas a aislamientos defectuosos o descargas eléctricas. Esto permite desviar todas estas corrientes hacia tierra protegiendo así a las personas y a los equipos. También ayuda a la actuación de las protecciones eléctricas y limita las tensiones peligrosas en las partes metálicas.

4.4.1 Ubicación

En nuestra instalación, la toma de tierra se ha situado en la caseta exterior, junto al cuadro eléctrico principal. Esta ubicación ha sido seleccionada por varios motivos:

- Buena accesibilidad, lo que facilita su inspección y mantenimiento en caso de avería.
- Separación adecuada de la nave, lo que contribuye a una mayor seguridad frente a derivaciones o fallos eléctricos.
- Espacio suficiente y entorno adecuado para realizar con comodidad los trabajos de instalación, conexión y mantenimiento.

Esta ubicación permite integrar correctamente la red de tierra con el resto de los elementos eléctricos, cumpliendo con las exigencias de seguridad del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8].

4.4.2 Esquema de conexión

En este proyecto, se ha optado por un esquema de conexión a tierra de tipo TN-S. Este sistema se caracteriza por la separación del cable neutro (N) y el cable de protección (PE) durante toda la instalación. Esto significa que el neutro se conecta a tierra en punto de origen del sistema, lo que ya es responsabilidad de la empresa eléctrica suministradora, y la protección se conecta a la toma de tierra del cuadro general.

Se trata de un sistema recomendado para grandes instalaciones industriales que, en nuestro caso, podría no ser necesario dada una potencia relativamente baja desde un punto de vista industrial. Sin embargo, por el hecho de contar un potencial centro de transformación, y poder mejorar la instalación y afrontar futuras mejoras, se ha optado por este sistema.

El esquema de conexión TN-S aporta varias ventajas a la instalación [13]:

- Aporta mayor seguridad al sistema.

- Es el que mejor cumple con las normativas de Compatibilidad Electromagnética CEM.
- Las masas cuentan con una buena equipotencialidad, lo cual implica un ahorro económico al no ser necesario instalar conexiones equipotenciales adicionales.
- Facilita la localización de posibles averías, simplificando su mantenimiento.

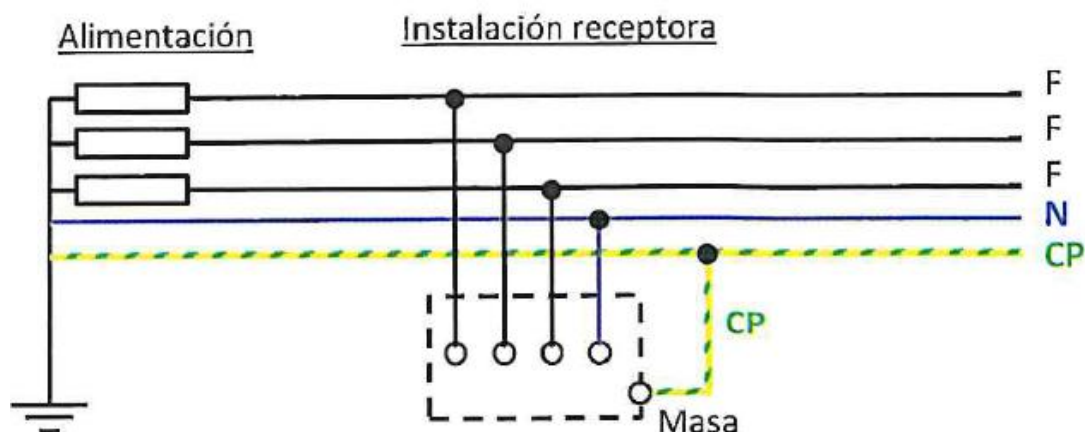


Figura 3. Esquema de conexión TN-S. [8]

4.4.3 Elementos del sistema

El montaje de la conexión a tierra se realiza mediante un conductor de protección que parte desde el cuadro general, hasta el electrodo de puesta a tierra, que se encuentra situado muy próximo al cuadro eléctrico.

El electrodo está situado en una pica de cobre enterrada, concretamente, se ha seleccionado una pica de tierra de acero de 2 m x 14,2 mm con recubrimiento de cobre de 100 micras [14]. Esta pica proporciona una vía segura para que las corrientes no deseadas se disipen a la tierra en caso de necesitarlo.

El cableado de conexión con el sistema de puesta a tierra es de cobre protegido contra la corrosión, y al ser del mismo material que los cables de fase, se utiliza la Tabla 13, establecida por la ITC-BT-18 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8].

Tabla 13. Relación entre las secciones de los conductores fase-protección.[8]

Sección conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S^*$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

4.4.4 Resistencia de puesta a tierra

La resistencia de puesta a tierra se utiliza para evaluar el grado de oposición que presenta el sistema frente al flujo de corriente eléctrica. En este caso es deseable un bajo valor de resistencia para disipar una mayor cantidad de corriente.

4.5 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE CONDUCTOR

Los conductores eléctricos son los elementos encargados de transportar la corriente eléctrica desde el punto de origen, que en este caso es el cuadro general, hasta los diferentes receptores que se sitúan en la nave haciendo llegar corriente a todos ellos y permitiendo su funcionamiento.

Además, todos los conductores presentan una resistencia eléctrica que depende las características de cada uno de ellos. Y como bien se ha explicado antes, esta resistencia puede implicar sobrecalentamientos y caídas de tensión.

Por todo lo anterior, escoger un conductor adecuado es fundamental para el correcto desarrollo del sistema y reducir todos los posibles riesgos que puedan existir. Esta elección se realiza considerando los criterios establecidos por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8].

4.5.1 Elección del tipo de conductor

Para el diseño eléctrico de este proyecto, se deben utilizar o bien conductores de cobre, o bien de aluminio como se exige en la ITC-BT-19 del Reglamento

Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8]. En nuestro caso, se ha optado por los conductores de cobre debido a que son ampliamente utilizados y tienen unas buenas características.

Por otra parte, el aislamiento escogido ha sido el XLPE (polietileno reticulado), rodeado por una cubierta exterior de baja emisión de humos y cero halógenos (LSZH). Se trata de un tipo de aislamiento para cables eléctricos que ofrece excelentes propiedades eléctricas y mecánicas, convirtiéndolo en una gran opción para nuestra instalación.

Esta opción se utiliza tanto para la distribución en el interior de la nave como para el traslado bajo tierra hasta la caseta donde se sitúa el cuadro eléctrico general.

La identificación de los conductores, como se establece en la ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8], debe seguir un mismo criterio. Se exige que los conductores de fase deben ser de color marrón o negro, el conductor neutro azul claro, y el conductor de protección verde y amarillo.

4.5.2 Características del conductor

Para poder garantizar el correcto funcionamiento de la instalación es necesario tener en cuenta las características de los conductores y verificar que cumplen con la normativa establecida. Por eso, a continuación, se detalla las características del conductor y aislamiento escogidos [15]:

- El cobre, por su naturaleza, es un metal dúctil, maleable y un excelente conductor.
- No se derrite con facilidad.
- Vida útil suficientemente larga.
- Mejor resistencia a los impactos.
- Se puede reciclar y, al hacerlo, no pierde sus propiedades.
- Es resistente a la corrosión.

- Dispone de una gran resistencia térmica.

Todas estas son algunas de las características que tiene el conductor de cobre con aislamiento XLPE. Esto nos permite realizar un diseño seguro y cumplir con toda la normativa vigente.

4.6 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE CANALIZACIÓN

Las canalizaciones eléctricas son un sistema de tuberías diseñadas para proteger y trasladar el cableado eléctrico por los interiores de edificios, locales o, en este caso, de la nave industrial.

También existen canalizaciones subterráneas que tienen la misma función que las situadas sobre superficie. La diferencia es que, al estar bajo tierra, no son visibles, lo que reduce aún más los riesgos de accidentes.

En general tienen un papel más importante de lo que se pueda pensar, porque más allá de lo estético y de que alojan a los conductores, sirven para proteger a los propios conductores del ambiente y daños mecánicos, facilitar el mantenimiento y la organización de los cables.

También dispondrán de conductos de ventilación debido al calor que disipan los conductores eléctricos.

4.6.1 Elección del tipo de canalización

En la deducción del tipo de canalización se van a diferenciar dos tipos, uno para la distribución en el interior de la nave y otro para cubrir la distancia entre la nave y la caseta donde se encuentra el cuadro eléctrico.

En primer lugar, para la distribución interior, se opta por una canalización metálica para la zona de fabricación, que es más costosa, pero debido a la exposición frente a los procesos de fabricación, que puede traer consigo posibles impactos o fuego, es necesario. Para la zona de oficinas, se opta por una canalización de PVC, que es más económica y es suficiente.

Según el método de instalación, tanto en la zona de fabricación como en la zona de oficinas, se apuesta por un sistema de conductores visibles y aislados en canales suspendidos, que se corresponde con el tipo B1, según el ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8].

En segundo lugar, para el traslado desde la nave al cuadro eléctrico, se opta por una canalización de PVC, reforzado en sus alrededores para evitar los daños mecánicos que se puedan ocasionar. En este caso, al estar enterrada, se escoge un sistema de cables unipolares con cubierta en el suelo con protección mecánica complementaria, según el ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8].

Por último, en el interior de la caseta se utiliza un sistema de canalización de PVC, entubado del tipo B1 según el ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8]. Dado que la longitud de los circuitos de la caseta es muy corta, se utiliza una canalización de bajo coste.

Como son varios circuitos los que se deben llevar hasta el cuadro general eléctrico, se utilizan varias canalizaciones para no debilitarlas y evitar riesgos.

4.6.2 Características de las canalizaciones

En este caso, se han seleccionado distintos tipos de canalizaciones en función de las características de la zona. Por lo tanto, cada una de ellas tendrá unas características diferentes. A continuación se muestran las características de cada una:

Canalización subterránea

- Alta resistencia mecánica dado su refuerzo añadido.
- Gran resistencia a la corrosión que pueda existir bajo tierra por la humedad y la tierra.
- Posee una gran flexibilidad lo permite adaptarla a cualquier trayectoria.
- Son bastante ligeras y fáciles de instalar.
- Instalación subterránea, que recude el impacto visual y el riesgo de accidentes.

Canalización zona de oficinas y caseta exterior

- Son bastante ligeras y fáciles de instalar.
- Gran aislante térmico, que ayuda a prevenir accidentes.
- Material económico.
- Facilidad de acceso al estar visibles.
- Funcional y estético.

Mucha de las características del material las comparte con la canalización subterránea al ser el mismo material.

Canalización zona de fabricación

- Gran resistencia mecánica al estar construida por materiales robustos como el acero.
- Protección contra incendios, evitando la propagación del fuego por la distribución eléctrica.
- Instalación sencilla y versátil.
- Facilidad de acceso al estar visibles.

4.7 DISTRIBUCIÓN DE CIRCUITOS

Para llevar a cabo una correcta distribución de la infraestructura eléctrica en cada zona de la nave, se ha llevado a cabo una distribución estructurada en varios circuitos atendiendo a criterios funcionales, normativos, y de seguridad. La organización de cada circuito está diseñada para tratar de favorecer la correcta protección de cada línea y optimizar el rendimiento global del sistema.

Como se ha mencionado anteriormente, se han separado los circuitos de iluminación y fuerza, siguiendo lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8]. Asimismo, para favorecer un reparto equilibrado de las cargas y prevenir posibles sobrecargas en los circuitos, se ha optado por distribuir las cargas en

distintas líneas independientes. La distribución también ha tenido en cuenta la ubicación de cada zona de la nave, permitiendo una organización eficiente y racional de la instalación eléctrica.

Partiendo de todas las premisas indicadas, se muestran a continuación todos los circuitos establecidos juntos con las salas a las que se alimenta con cada uno.

Circuito de luz (CL)

Este circuito se encarga de alimentar los sistemas de iluminación de todas las salas y pasillos de la nave industrial, así como del área de aparcamiento exterior.

Circuito 2

Este circuito se encarga de alimentar a las dos máquinas de climatización de la nave, tanto la de la zona de oficinas como la de la zona de fabricación. Al ser unas máquinas con un consumo elevado, se sitúan en un circuito independiente. También alimentan las tomas de corriente situadas en el pasillo principal de la zona de oficinas y en el pasillo central de fabricación.

Circuito 3

Las cargas asociadas a este circuito se muestran en la Tabla 4 y Tabla 5.

Tabla 14. Circuito 3. [Elaboración propia]

Sala	Uso
13	Aseos masculinos
19	Rectificado
20	Verificado
21	Grabado laser
22	Almacenaje para envío

32	Aparcamiento
-----------	--------------

Circuito 4

Las cargas asociadas a este circuito se muestran en la Tabla 3.

Tabla 15. Circuito 4. [Elaboración propia]

Sala	Uso
4	Oficina ingenieros de mantenimiento
5	Oficina ingenieros de diseño
6	Aseos masculinos
10	Sala de mantenimiento
11	Vestuarios masculinos
12	Vestuarios femeninos

Circuito 5

Las cargas asociadas a este circuito se muestran en la Tabla 4.

Tabla 16. Circuito 5. [Elaboración propia]

Sala	Uso
14	Aseos femeninos
15	Mecanizado
16	Tratamiento térmico
18	Recepción del material

Circuito 6

Las cargas asociadas a este circuito se muestran en la Tabla 4.

Tabla 17. Circuito 6. [Elaboración propia]

Sala	Uso
17	Fundición

Circuito 7

Las cargas asociadas a este circuito se muestran en la Tabla 3.

Tabla 18. Circuito 7. [Elaboración propia]

Sala	Uso
1	Despacho director general
2	Despacho subdirector
3	Oficinas comerciales y administrativos
7	Aseos femeninos
8	Comedor y sala de descanso
9	Sala de reuniones

Circuito 8

Este circuito se encarga de alimentar las cargas que se ubican en la caseta exterior, como por ejemplo los inversores.

Circuito 9

Este circuito se encarga de alimentar el sistema de iluminación de la caseta exterior. Al ser una zona apartada, tiene su propio circuito.

Como se puede observar, se ha procurado repartir las cargas en distintos circuitos según su consumo y también según su ubicación. Esto permite atajar rápidamente

cualquier avería y, en caso de que sucediera, que solo afectara a esa zona y no a toda la nave.

En el anexo 4, se muestra el plano del circuito unifilar con cada uno de los circuitos.

4.8 CÁLCULOS

En este apartado se detallan los procedimientos realizados para el diseño completo de la infraestructura eléctrica siguiendo los criterios establecidos por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8]. Este paso es muy importante, ya que nos permite establecer los valores numéricos de cada fase, y con ello terminar de dimensionar correctamente cada área. Además, también nos da la oportunidad de corroborar y ver que esta correcto todo lo diseñado previamente.

Para este diseño, se ha optado por un dimensionamiento por tramos, de manera que se ha podido conocer la caída de tensión la corriente o la sección en cada punto de la distribución.

4.8.1 Cálculo de intensidad

Lo primero que se debe conocer para realizar el dimensionamiento es la corriente que se distribuye en cada tramo, desde que sale del cuadro general, hasta que llega a los receptores.

En este caso, se ha comenzado determinando la corriente para cada componente, en base a la potencia activa de ese elemento (Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6), la tensión del sistema con la que se trabaja (400V para trifásica y 230V para monofásica), y el factor de potencia de cada elemento expuestos en la

Tabla 30 del anexo 3. Con los datos anteriores y empleando las expresiones mostradas a continuación, se ha procedido a calcular las corrientes. La primera se utiliza para el cálculo en trifásica y la segunda para el cálculo en monofásico.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos(\phi)}; U = 400 V$$

Expresión 1. Cálculo de la corriente en trifásica a partir de la potencia.

$$I = \frac{P}{U \times \cos(\phi)} ; U = 230 V$$

Expresión 2. Cálculo de la corriente en monofásico a partir de la potencia.

Una vez determinada la corriente para cada elemento, se comienza a sumar las corrientes que se van agrupando en un mismo tramo según los circuitos estipulados hasta llegar al cuadro general. Se identifica con una letra a cada uno de los tramos para poder diferenciarlos.

En la Tabla 31 y Tabla 32 del anexo 3, se reflejan los cálculos de corrientes de toda la instalación. En esa tabla únicamente se agrupan las corrientes de cada sala y no por tramos, ya que esta operación se hace en el siguiente paso.

4.8.2 Cálculo de secciones

Una vez calculadas las corrientes de cada ramal, se procede a calcular las secciones de los conductores correspondientes a cada tramo. En este caso se calcula, por una parte, las secciones correspondientes a la distribución interior, y por otra, las secciones correspondientes al conexión exterior hasta el cuadro eléctrico.

Para la distribución interior, el dimensionamiento considera tanto las corrientes admisibles (Tabla 7), como el número de circuito coincidente (Tabla 9), como la temperatura ambiente (Tabla 11). Con ello, lo que se hace es dividir la tensión obtenida en cada tramo entre el factor de reducción en función del número de circuitos y con esa tensión resultante, buscar en la Tabla 7 qué sección se necesita. El factor de temperatura ambiente se tiene en cuenta, pero al ser 1 no tiene ninguna repercusión en los cálculos. Los resultados de las secciones obtenidas se encuentran expresados en el anexo 3, desde la Tabla 33 hasta la Tabla 41.

La distribución exterior, es decir, el conexión del cableado desde la nave hasta el cuadro eléctrico general, se realiza bajo tierra. Esto modifica las tablas que se toman como referencia para el cálculo de las secciones, factores de reducción por agrupamiento de circuitos y factor de temperatura. En este caso, se opera de la misma forma que para el caso anterior y los resultados se presentan en el anexo 3, desde la Tabla 33 hasta la Tabla 41.

4.8.3 Cálculo de las caídas de tensión

Para completar el dimensionamiento, se calculan las caídas de tensión en todas las tomas de corriente de la nave para corroborar que se cumple con la normativa impuesta por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8], que, como ya se ha explicado en apartados anteriores, en el caso de una nave industrial debe ser menor de un 6,5% para las cargas, y menor de un 4,5% para el alumbrado.

También se ha comprobado la caída de tensión en cada uno de los tramos ya que se ha mantenido el mismo sistema organizativo empleado para la corriente. Esto se ha utilizado para después ir sumando todos los tramos hasta llegar a las tomas finales y conocer la caída de tensión total de cada punto.

Para calcular la caída de tensión se aplica la sencilla expresión de la ley de Ohm, que se muestra a continuación.

$$\Delta U = I \times R$$

Expresión 3. Ley de Ohm.

En la expresión se muestra la corriente I , que se corresponde con la corriente que circula por cada tramo, calculada anteriormente. También se muestra la resistencia R , que se corresponde con la resistencia de los conductores. Para calcular la resistencia de los conductores se considera la siguiente expresión:

$$R = \rho \times \frac{L}{S}$$

Expresión 4. Resistencia de un conductor.

Como se puede ver, se tienen en cuenta tres parámetros: la resistividad del material ρ , que en nuestro caso es el cobre, la longitud del tramo L sobre el que se calcula la resistencia y la sección S , que es la sección del conductor que se ha calculado anteriormente.

Con todo ello, una vez calculada la caída de tensión total de cada toma, se procede a comprobar que se cumple con el porcentaje de caída establecido. Para ello, simplemente se calcula el porcentaje que representa la caída de tensión calculada sobre la tensión de 400 V.

En el anexo 3, desde la Tabla 33 hasta la Tabla 41, se presentan las caídas de tensión de cada tramo, diferenciados por circuitos, y en la Tabla 42 del mismo anexo, se presentan las caídas de tensión totales sobre todas las tomas de la nave.

4.9 TOMAS DE CORRIENTE

Las tomas de corriente son los elementos que permiten conectar todos los aparatos de la nave a la red eléctrica. Su instalación se basa en una serie de criterios entre los que destacan la seguridad y la funcionalidad.

Se ha considerado la naturaleza de las cargas eléctricas previstas en cada zona para escoger un tipo de toma u otro. Debe realizarse una organización correcta y cuidadosa, situándolas en un lugar adecuado ya que esto determinará la posición de todos elementos.

Se sitúan tomas de corrientes en todas las salas y también en la caseta exterior de manera que queda cubierta toda la instalación.

La instalación se ha realizado no solo pensando en las necesidades actuales de la fábrica, sino también pensando todas las futuras mejoras y modificaciones que pueda albergar. Por eso, el diseño de la organización de estas se trata de un proceso complejo que tiene en cuenta varios factores.

4.9.1 Tipos de tomas

En toda la instalación se ha optado por llevar cable trifásico a todas las salas de la nave y la caseta exterior de forma que, a priori, todas están preparadas para ser trifásicas. Sin embargo, en función de los usos que se hagan en cada área, se va a utilizar trifásica o se utilizará monofásica conectando únicamente a una de las fases.

En el caso de la zona de fabricación, las tomas de corrientes se disponen con trifásica por necesidad de las máquinas de fabricación y todas ellas poseen un interruptor para cortar la corriente en caso de necesidad. En la caseta exterior, las tomas de corriente también se disponen con trifásica al estar situado en ella los inversores y demás aparatos de mando de alto consumo. Se considera en ambas zonas, unas tomas en monofásica por si fuera necesario.

De igual manera, las tomas de corriente dedicadas al sistema de climatización y al aparcamiento se instalan en trifásica.

En cambio, para la zona de oficinas, el alumbrado y todos los aseos, las tomas de corrientes se habilitan en monofásica conectándolas únicamente a una de las fases. Esto se debe al bajo consumo de todos los elementos de estas áreas y así no se sobredimensiona la instalación. Además, este hecho de conectar a una fase y dejar las otras dos libres, permite que, en caso de avería de una fase, se pueda conectar a cualquiera de las otras dos y seguir funcionando.

Por lo tanto, esta distribución le aporta flexibilidad a la instalación, de manera que está preparada para cualquier modificación futura sin la necesidad de realizar grandes modificaciones en el cableado. También ayuda al equilibrio de cargas entre las fases, lo cual es importante para mejorar el rendimiento de la red.

4.9.2 Criterios técnicos aplicados

La altura establecida para la instalación de las tomas de corriente es escogida en base a la funcionalidad de las salas y la seguridad de su ubicación, siempre y cuando respetando los criterios establecidos por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8].

En el área de oficinas, las tomas de corriente estarán situadas a 0,3 m de altura sobre el nivel del suelo. Se ha definido esa altura por la comodidad de su uso para los empleados de oficinas, que trabajan generalmente sentados; la ergonomía con los aparatos electrónicos; y por razones estéticas, al tratarse de una zona que puede recibir visitas externas.

En cambio, en el área de fabricación y en la caseta exterior, las tomas de corriente están situadas a 1 m de altura sobre el nivel del suelo. Así pues, se reducen riesgos que puedan existir derivados de vertidos de líquidos o desconexión del cable por impacto. Además, permite facilitar el acceso a la toma en caso de que hubiera maquinaria cerca de la pared.

4.10 CUADRO ELÉCTRICO

El cuadro eléctrico de distribución en baja tensión es un componente crítico y necesario en todas las estructuras. Está situado en la caseta exterior y permite garantizar el reparto y el consumo de cada línea de forma eficiente.

Son la base de la instalación ya que de ellos se ramifican todos los circuitos regulando el flujo de corriente en cada uno de ellos, y actúan como protección para el resto de la instalación.

Es muy importante su correcta instalación ya que de él van a depender el resto de los sistemas, y además debe estar bien protegido, puesto que contiene un gran número de elementos.

4.10.1 Tipo de cuadro eléctrico

El cuadro eléctrico utilizado para esta instalación es un cuadro de distribución. Su función principal es la gestión de la energía correcta de los equipos y maquinaria que se encuentran conectadas al cuadro. Por otro lado, también protege los distintos circuitos de la instalación.

Se trata de un cuadro de superficie con una estructura metálica envolvente. Dicha estructura es exigida en cualquier instalación tal y como se indica en el ITC-BT-17 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8]. También es necesario indicar sobre la estructura la advertencia de riesgo eléctrico con una pegatina normalizada.

El cuadro se instala atornillado directamente sobre la pared facilitando el acceso a los componentes internos para mantenimiento o posibles modificaciones.

4.10.2 Componentes

El cuadro eléctrico está formado por diferentes dispositivos que permiten tanto la distribución como la protección. Para conocer de manera más detallada estos componentes, se explica cada uno de ellos [17].

Armario o envolvente exterior: Se trata de la estructura exterior que aloja en su interior todos los componentes y equipos. Deben estar concebidos y contruidos con

conforme a las normas del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8], y a las correspondientes de ensayos y seguridad proporcionando un entorno seguro para los equipos internos y evitar el acceso a zonas activas interiores.

Contactores: Son dispositivos electromecánicos que permiten abrir o cerrar circuitos, tanto en carga como en vacío, en los que intervengan cargas sobre las que se quiere actuar.

Barras de conexión: Los cuadros eléctricos cuentan en su interior con embarrados de cobre y barras de conexión, que permiten la conexión y distribución de cables eléctricos hacia los diferentes circuitos o cargas. Estas barras facilitan la organización y la gestión de los cables dentro del panel.

Etiquetas o identificación: Es habitual y aconsejable que los cuadros eléctricos incluyan etiquetas de identificación interiores de los circuitos y dispositivos conectados para facilitar su mantenimiento y resolución de problemas.

Medidores: Son elementos de medida energética situados en la cabecera de los circuitos y cuadros, los cuales parametrizan sus valores eléctricos como son tensiones, intensidades, energía activa, reactiva, potencia, armónicos, etc. Permiten realizar un seguimiento del consumo eléctrico en diferentes circuitos o áreas. En la actualidad es común que estén conectados a la red de datos de la empresa para enviar la información a un servidor para una cómoda gestión.

Protecciones: El cuadro eléctrico posee varios elementos de protección y estos se tratan en el siguiente apartado correspondiente a protecciones.

4.11 PROTECCIONES

Las protecciones son dispositivos esenciales en una instalación eléctrica dado que sirven para resguardar a las personas y a los equipos frente a sobretensiones, cortocircuitos, sobrecargas o fugas de corriente.

En esta instalación, se han dispuesto las protecciones de acuerdo con lo establecido en las ITC-BT-22, ITC-BT-23, ITC-BT-24 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8]. Se ha presentado especial atención al nivel de protección requerido en función de las características de cada zona.

Una correcta elección de los elementos de protección que se van a emplear es fundamental para poder garantizar la seguridad en cualquier situación. Esto significa que pueden detectar cualquier anomalía que exista en el circuito eléctrico y evitar daños mayores que provoquen parones duraderos en las distintas áreas de trabajo.

Los principales elementos de protección se encuentran situados en el cuadro eléctrico general y en las tomas de corriente, aunque también existen elementos de protección en la toma de tierra y en ciertas máquinas que tienen sus propias protecciones aparte.

4.11.1 Protecciones del cuadro general

Vista la complejidad y el gran número de componentes que forman el cuadro eléctrico es necesario que contenga unas exigentes protecciones para evitar cualquier tipo de accidente. Se emplea un grado de protección IP65 [16], que es un valor alto pero necesario para una instalación de este tipo.

A continuación, se detallan cada uno de los componentes de protección [18] que posee el cuadro eléctrico:

Interruptor general automático (IGA): Es un elemento que protege las instalaciones eléctricas de posibles sobrecargas o cortocircuitos. Interrumpe el suministro eléctrico cuando detecta un exceso de potencia que pueda poner en riesgo al sistema.

Interruptor diferencial general (ID): El Interruptor Diferencial o disyuntor es el elemento de la instalación eléctrica que nos protege cuando se produce una derivación de la corriente eléctrica. El dispositivo detecta la derivación e interrumpe el flujo de corriente. Esto sirve para detectar fugas a tierra y prevenir electrocuciones o, en caso de producirse, desconectar la alimentación antes de que se produzcan daños graves. Es importante destacar que un diferencial no protege de todos los tipos de electrocución. Por ejemplo, un diferencial trifásico podría no detectar una electrocución por contacto simultáneo con dos fases. Se emplean interruptores diferenciales en cada circuito individual con alta sensibilidad, y también interruptores diferenciales de menor sensibilidad y de los que colgarán varios circuitos. Estos diferenciales de niveles superiores son menos sensibles para considerar la suma de las tolerancias de los colocados en niveles inferiores y se emplean para doblar la seguridad en caso de fallo de los individuales.

Interruptores automáticos (PIAs): Los pequeños interruptores automáticos se encargan de la protección de los circuitos eléctricos interiores de la instalación y de los electrodomésticos conectados a la misma. Si se detecta una sobrecarga o cortocircuito en alguna de las partes de la vivienda, estos interruptores suspenden la corriente solo en la parte afectada. En la práctica, son iguales los IGA pero para circuito individual de la instalación.

Limitador o protector de sobretensión (PSC): Son dispositivos que ayudan a proteger a los aparatos conectados a la red eléctrica ante subidas de tensión. Cuando se produce una subida de tensión eléctrica este dispositivo salta desviando la corriente y protegiendo a los aparatos de posibles averías.

Protector contra sobretensiones (SPD): Son dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias y temporales. Están diseñados para proteger la instalación eléctrica y los equipos conectados frente a sobretensiones de corta duración pero alta energía. Se ubican justo a continuación del interruptor general automático (IGA).

4.11.2 Protecciones de las tomas de corriente

En las instalaciones eléctricas existen diferentes tipos de protecciones para las tomas de corriente. Estas protecciones son las últimas antes de que la corriente llegue a los equipos, y por ello deben tratarse con especial atención.

A continuación, se detallan los principales componentes de protección que se instalan en las tomas de corriente.

Interruptores magnetotérmicos: Dispositivos electromecánicos con capacidad para cortar, por sí mismos, las sobreintensidades no admisibles y los cortocircuitos que se puedan producir. Su función es equivalente a la de un PIA.

Diferenciales: Dispositivo que protege frente a sobrecargas y cortocircuitos. Este dispositivo tiene mucha importancia en las instalaciones eléctricas y necesita estar protegido de las sobreintensidades y cortocircuitos, colocando un interruptor magnetotérmico antes del mismo. En ocasiones, el diferencial y el magnetotérmico son un solo equipo.

Toma de tierra: Proporcionan una vía segura para la corriente en caso de falla, protegiendo a las personas y equipos.

4.12 OBSERVACIONES

Durante el desarrollo de todo el dimensionamiento de la infraestructura eléctrica, se han detectado varios problemas que han llevado a modificar el diseño y rehacer cálculos. Esto también forma parte del diseño de una instalación eléctrica.

En un principio se consideró la ubicación de la casete en el frente de la nave. Sin embargo, por razones de distribución en la parcela, se decidió cambiar su ubicación a un lateral de la nave. Esto provocó que se tuviera que añadir cableado, lo que afectó a las caídas de tensión y obligó a su recálculo.

Otro de los contratiempos sufridos ha sido la adición de consumos necesarios que al principio no habían sido considerados. Por tanto, ha sido necesario volver a calcular las corrientes, las secciones y las caídas de tensión de las zonas afectas.

Con todo esto se pretende reflejar y hacer ver los problemas y contratiempos que pueden surgir durante el diseño de una instalación de este tipo.

5 COMPENSACIÓN REACTIVA

5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

La energía reactiva es una forma de energía que no produce trabajo útil, pero es necesaria para el funcionamiento de ciertos equipos eléctricos, tales como los motores de la maquinaria. Se genera cuando la corriente y el voltaje no están en fase, creando una energía que no se convierte en trabajo útil.

La instalación diseñada, al igual que la mayoría de las instalaciones, presenta cargas netamente inductivas, lo que supone un consumo de potencia reactiva inductiva. La presencia de elevada potencia reactiva en la instalación puede reducir el factor de potencia de forma significativa y acarrear penalizaciones económicas por parte de la empresa suministradora, además de influir negativamente en algunos equipos

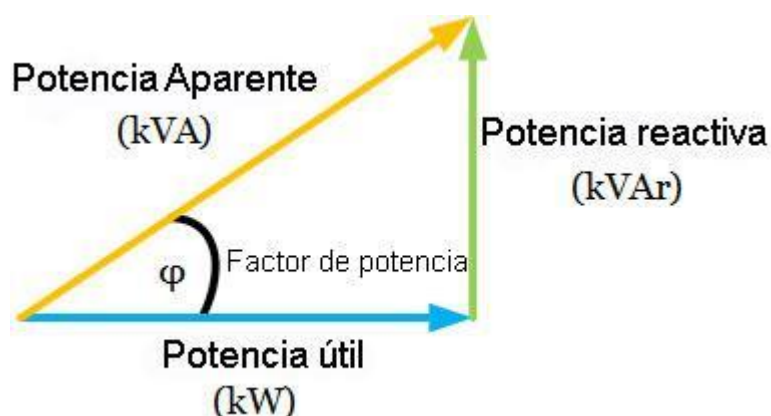


Figura 4. Triángulo de potencias. [19]

Este efecto se puede reducir aplicando el teorema de Boucherot. Para ello, se instala una batería de condensadores la cual genera potencia reactiva capacitiva, de signo contrario a la inductiva. Boucherot nos permite sumar estas potencias reactivas para obtener una resultante lo más cercana posible a cero reduciendo así la mayor parte de la demanda reactiva y evitando la situación mencionada. Además, también se consigue mejorar la eficiencia de la instalación y liberar la capacidad de las líneas eléctricas. Es importante mencionar que hay que garantizar que la instalación no se vuelve capacitiva en ningún momento.

La batería de condensadores se ubica en la caseta exterior junto al cuadro general eléctrico, principalmente por seguridad y para facilitar la accesibilidad de cara al mantenimiento.

5.2 BATERÍA DE CONDENSADORES

Las baterías de condensadores son un conjunto de condensadores interconectados que se instalan en una instalación eléctrica con el objetivo principal de eliminar o reducir la energía reactiva que se genera. Estas baterías pueden variar la capacidad que conectan a la red de forma que se adaptan a la situación puntual en cada momento, pues no siempre se consume la misma cantidad de reactiva. Esto optimiza la distribución en instalaciones como plantas industriales.

Los condensadores son elementos eléctricos capaces de almacenar energía en un campo eléctrico y están formados por dos placas paralelas. Se comporta como un generador de potencia reactiva capacitiva, de forma que permite compensar la potencia reactiva inductiva generada por el resto de las cargas.

En base de la potencia reactiva generada en la instalación, que se calcula en el apartado siguiente, se ha seleccionado una batería de condensadores apropiada para contrarrestar este efecto de energía inductiva. El modelo escogido es el “VarSet Premium Fija” de 125 kvar [20], que nos permite compensar toda la potencia reactiva inductiva de los equipos. A continuación se muestra una tabla de características del modelo.

Tabla 19. Características de la batería de condensadores escogida. [20]

Datos técnicos	
Tensión nominal de red	400 V CA 50 Hz 415 V CA 50 Hz
Clasificación de potencia reactiva	125 kvar
Modo de funcionamiento	Fijo
Gama	PowerLogic

Potencia por paso	125 kvar
Tensión nominal de aislamiento	690 V
Tensión nominal de resistencia a los impulsos	8 kV

5.3 CÁLCULOS

La potencia reactiva inductiva de la instalación se ha calculado aplicando el teorema de Boucherot, el cual nos permite calcular la potencia reactiva total como la suma de la potencia reactiva de cada una de las cargas de la instalación.

Se ha partido de la potencia activa de las cargas mostradas en la Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6, y a partir de ellas se ha calculado la potencia reactiva. Este cálculo ha sido realizado considerando el $\cos(\phi)$ de todos elementos, que se muestra en la

Tabla 30 del anexo 3, y aplicando la siguiente expresión:

$$Q = P \times \tan(\phi)$$

Expresión 5. Cálculo de la potencia reactiva.

En las tablas de a continuación se muestra la potencia reactiva de cada carga en cada una de las áreas.

Zona de oficinas

Tabla 20. Potencia reactiva consumida en la zona de oficinas. [Elaboración propia]

Sala	Potencia iluminación LED (var)	Potencia ordenadores (var)	Potencia Impresora (var)	Potencia TV (var)	Potencia Máquina aire (var)	Potencia mínima total (var)	Potencia total (10% seguridad-15% otras cargas-20%)

							futuras mejoras) (var)
1	5,551474 536	242,1610 524	112,5	0	0	360,2125 27	522,3081 641
2	4,434770 289	242,1610 524	0	0	0	246,5958 227	357,5639 429
3	9,515404 845	1937,288 419	675	0	0	2621,803 824	3801,615 545
4	6,944273 432	2421,610 524	0	0	0	2428,554 798	3521,404 457
5	7,193251 642	2421,610 524	0	0	0	2428,803 776	3521,765 475
6	3,125785 84	0	0	0	0	3,125785 84	4,532389 468
7	3,125785 84	0	0	0	0	3,125785 84	4,532389 468
8	16,65688 874	0	0	0	0	16,65688 874	24,15248 867
9	11,24592 666	0	0	77,49153 677	0	88,73746 343	128,6693 22
10	11,69704 559	0	0	0	0	11,69704 559	16,96071 611
11	8,290234 843	0	0	0	0	8,290234 843	12,02084 052

12	8,290234 843	0	0	0	0	8,290234 843	12,02084 052
23	17,47284 703	0	0	0	0	17,47284 703	25,33562 82
24	7,641905 445	0	0	0	0	7,641905 445	11,08076 29
25	2,327083 465	0	0	0	0	2,327083 465	3,374271 024
26	5,263054 234	0	0	0	0	5,263054 234	7,631428 64
27	9,544986 414	0	0	0	0	9,544986 414	13,84023 03
27	9,544986 414	0	0	0	0	9,544986 414	13,84023 03
34	0	0	0	0	4930,261 578	4930,261 578	7148,879 288

Zona de fabricación

Tabla 21. Potencia reactiva consumida en la zona de fabricación. [Elaboración propia]

Sala	Potencia iluminación LED (var)	Potencia Máquina (var)	Potencia Máquina aire (var)	Potencia mínima Total (var)	Potencia total (10% seguridad- 15% otras cargas-20% futuras mejoras) (var)
-------------	---	---------------------------------------	--	--	---

13	3,074018094	0	0	3,074018094	4,457326236
14	3,074018094	0	0	3,074018094	4,457326236
15	6,433991359	13228,75656	0	15309,49491	22198,76762
16	6,433991359	12699,60629	0	14697,37247	21311,19009
17	6,433991359	22047,92759	0	25511,53552	36991,72651
18	8,578655145	0	0	8,578655145	12,43904996
19	6,433991359	0	0	5107,454297	7405,808731
20	6,433991359	0	0	6,433991359	9,32928747
21	6,433991359	211,6601049	0	251,2829661	364,3603008
22	8,578655145	0	0	8,578655145	12,43904996
28	22,75562231	0	0	22,75562231	32,99565235
29	19,90593112	0	0	19,90593112	28,86360012
30	7,962372448	0	0	7,962372448	11,54544005
30	7,962372448	0	0	7,962372448	11,54544005
31	2,144663786	0	0	2,144663786	3,10976249
31	2,144663786	0	0	2,144663786	3,10976249
31	2,144663786	0	0	2,144663786	3,10976249
31	2,144663786	0	0	2,144663786	3,10976249
31	2,144663786	0	0	2,144663786	3,10976249
31	2,144663786	0	0	2,144663786	3,10976249
34	0	0	4930,261578	4930,261578	7148,879288

Aparcamiento

Tabla 22. Potencia reactiva consumida en el aparcamiento. [Elaboración propia]

Sala	Potencia iluminación LED (var)	Potencia puesto de carga toro (var)	Potencia puesto de carga vehículos (var)	Potencia mínima Total (var)	Potencia total (10% seguridad-15% otras cargas-20% futuras mejoras) (var)
32	65,07945283	6197,443384	6197,443384	12459,96622	18066,95102

Caseta exterior

Tabla 23. Potencia reactiva consumida en la caseta exterior.

Sala	Potencia iluminación LED (var)	Potencia inversores y demás equipos (var)	Potencia mínima Total (var)	Potencia total (10% seguridad-15% otras cargas-20% futuras mejoras) (var)
33	3,697696183	4843,221048	4846,918745	7028,03218

La potencia reactiva total de toda la instalación es de 121 kvar y la potencia activa total es de 198 kW. Por lo tanto, estos datos nos han permitido escoger el modelo de batería de condensadores y calcular el factor de potencia de la siguiente forma:

$$F.P = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = 0,85 \text{ (i)}$$

Expresión 6. Factor de potencia.

Como muestra la Expresión 6, resulta un FP inicial de 0,85 para toda la instalación. Sin embargo, al añadir la batería de condensadores, prácticamente se idealiza la instalación dejándolo cercano a la unidad.

5.4 OBSERVACIONES

Esta parte del proyecto permite hacerse una idea de la eficiencia de la instalación a través del factor de potencia y tratar de mejorarla al máximo mediante el complemento de una batería de condensadores. Con esto se ha conseguido reducir las pérdidas en la red, optimizar el uso de la energía eléctrica disponible y evitar las penalizaciones por consumo de energía reactiva.

6 DIMENSIONAMIENTO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

6.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Con el objetivo de obtener la mayor energía posible, se ha trazado el diseño de una instalación fotovoltaica conectada a red. Además, este hecho permite a la empresa darle un enfoque de empresa verde, con el que podrá recibir subvenciones a futuro, reducir costes, mejorar la imagen, y acceder a nuevos mercados en virtud de las políticas del ODS 7 [1].

Esta instalación, como bien se ha explicado en apartados anteriores, se ubica en la cubierta de la nave industrial, aprovechando al máximo la superficie disponible y las condiciones de orientación.



Figura 5. Instalación solar de una empresa verde. [21]

En este apartado, se desarrolla el dimensionamiento completo del sistema, considerando asuntos como las mediciones de la cubierta, el ángulo óptimo de inclinación, su disposición, y la elección de componentes como paneles, estructuras e inversores. También se realiza el cálculo de las caídas de tensión, potencia y las protecciones necesarias.

Todo ello se realiza asegurando el cumplimiento de los criterios técnicos, normativos, y de viabilidad económica.

6.2 TIPO DE INSTALACIÓN

El tipo de instalación escogida es del tipo conectada a red, que se trata de un sistema de generación de energía solar que se encuentra conectado con la red eléctrica pública.

La principal característica de este sistema es que la energía captada por medio de los paneles solares permite suministrar electricidad bien a la red pública o en nuestro caso, a la nave industrial. Cuando la generación solar excede la demanda eléctrica del consumo de la nave, el exceso de energía se puede inyectar a la red eléctrica. En cambio, si la generación solar es insuficiente para cubrir la demanda de los consumos de la nave, se puede suministrar electricidad de la red para compensar esta diferencia.

En este tipo de conexión muestra dos tipos de conexión: con excedentes y sin excedentes. En el primero, la instalación, aparte de generar la energía para autoconsumo, también produce energía que, si no se usa, se inyecta a la red eléctrica obteniendo una compensación por ello. En cambio, en el segundo, la instalación cuenta con un sistema de anti vertido donde la energía sobrante generada no es volcada a la red eléctrica

La conexión a la red eléctrica presenta varios beneficios tales como los siguientes:

- Permite no depender de sistemas de almacenamiento costosos como las baterías ya que puedes utilizar la energía de la red cuando te sea necesario.
- Permite aprovechar las diferentes tarifas que ofrecen las comercializadoras eléctricas
- También admite beneficiarse de la compensación de excedentes en facturación para que los consumos en factura sean los mínimos posibles.

6.3 MEDICIONES

En este apartado se recogen las dimensiones de la cubierta donde se proyecta la instalación fotovoltaica. El análisis de la superficie disponible es fundamental para verificar el número de módulos necesarios y determinar su disposición óptima.

La cubierta es a un solo agua y tiene un ángulo de inclinación de 8° . Por trigonometría se ha obtenido la longitud real de la cubierta y la altura hasta la cumbre. Este paso es muy importante para después ya que se necesita conocer la inclinación de partida de los paneles para después calcular la inclinación óptima.

A continuación se muestran, en la Figura 6, las dimensiones de la cubierta; y en la Figura 7, las dimensiones en vista de perfil.

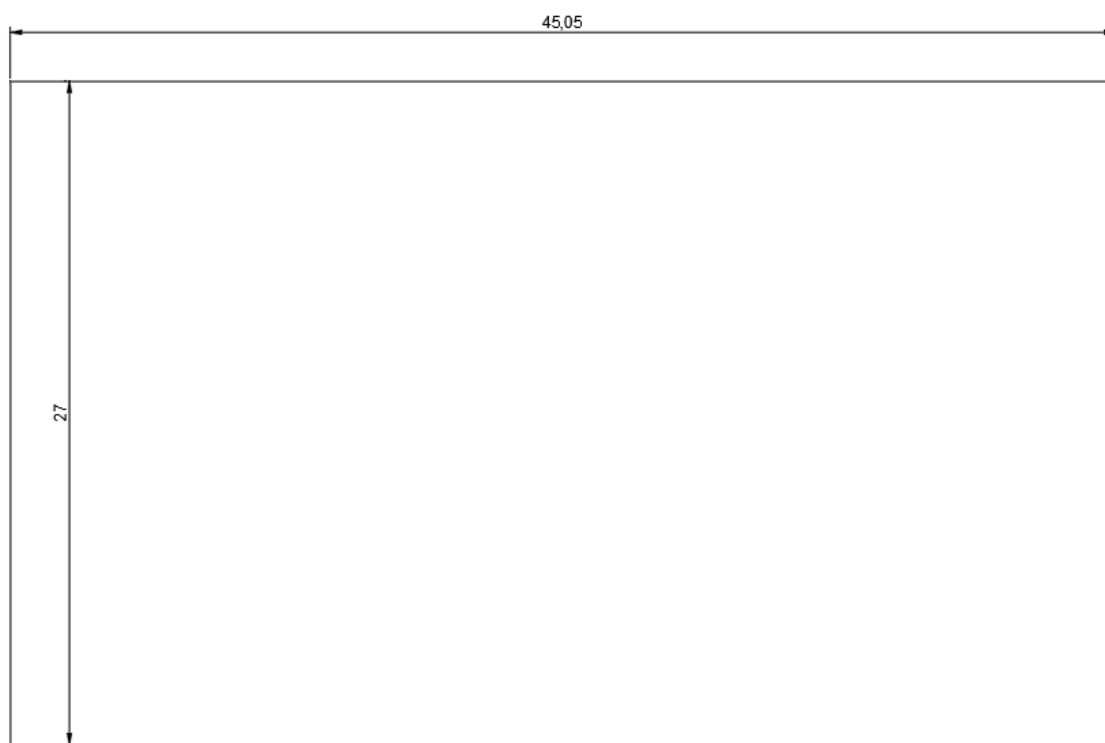


Figura 6. Dimensiones de la cubierta en metros (vista planta). [Elaboración propia]

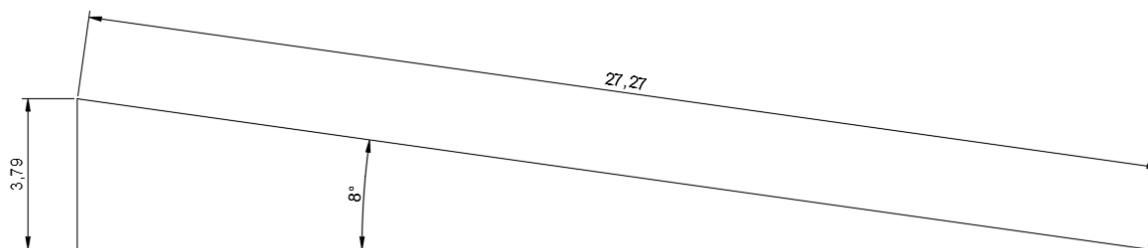


Figura 7. Dimensiones de la cubierta. Distancias en metros y ángulo en grados sexagesimales. (vista perfil). [Elaboración propia]

6.4 ELECCIÓN DEL PANEL

Una vez que se conocen cuáles son las dimensiones de la cubierta, el siguiente paso es seleccionar el tipo de panel fotovoltaico que se utilizará en la instalación. Esta elección es clave, ya que influye directamente en el rendimiento de la instalación y en el número de paneles a instalar. Dependiendo de las dimensiones del panel entrarán más o menos y se optará por una disposición u otra. Para ello se analizan diferentes modelos comerciales atendiendo a parámetros como su eficiencia, dimensiones, tolerancias de operación, garantías del fabricante y comportamiento frente a condiciones ambientales.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados, se escoge el panel “FU590MV Nova Duetto” que es del fabricante “Futura Sun” [22]. Este panel tiene unas magníficas características que encajan perfectamente con las características de la nave y de la ubicación geográfica. A continuación, se muestran en la Tabla 24. Características de la placa seleccionada. las características del panel.



PAINEL SOLAR FUTURASUN FU590MV SILK NOVA DUETTO 590W N-TYPE

Marca FuturaSun
Referencia PAS00218

El módulo Futurasun Velvet 590W es un módulo monocristalino de calidad europea con células monocristalinas de half-cut MBB N-type, que ofrece una eficiencia máxima del 22%.

126,02 €

Incluyendo 0,23 € para la ecotasa
Impuestos incluidos

- 1 +

AÑADIR AL CARRITO

Figura 8. Panel solar seleccionado. [22]

Tabla 24. Características de la placa seleccionada. [22]

Datos Técnicos	
Tipo de célula	108 células N-type MBB Half-cut
Tensión máxima en circuito abierto (Voc)	51.28 V
Tensión máxima de pico (Vmp)	42.65 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	14.64 A
Corriente de pico máxima (Imp)	13.84 A
Eficiencia máxima	22.84 %
Tipo de módulo	Bifacial
Datos Generales	
Longitud del cable	1100 mm ensamblado a medida con conectores compatibles de 4 mm2

Color del módulo	Marco de plata
Dimensiones	2278 x 1134 x 30 mm
Peso	32 kg
Garantía del producto	15 años
Garantía de producción lineal	30 años

6.5 ESTRUCTURA

La estructura de soporte es un componente fundamental para la instalación fotovoltaica debido a que garantiza la correcta fijación y orientación de los paneles solares, asegurando tanto su rendimiento óptimo como su durabilidad frente a las condiciones ambientales. Para este proyecto, se ha optado por el fabricante “K2 Systems”. [23]

Dado que se quiere instalar los paneles con el ángulo óptimo para obtener la máxima generación de energía posible, se ha optado por una estructura que permite regular el ángulo de inclinación sobre la cubierta.

En este catálogo se presentan numerosas variantes para escoger. En este caso se opta por una sujeción para cubierta inclinada y chapa trapezoidal o panel sándwich, dado que, al tratarse de una nave industrial, se supone este tipo de cubierta muy típico para estos casos.

Por lo tanto, para la instalación en cuestión se escoge como sistema de sujeción el modelo de rail “MultiRail 25” fabricado en aluminio y con un sistema de anclaje a la cubierta con tornillos [24]. Como sistema de elevación, se escoge el modelo “Dome 6.10 Peak” fabricado también en aluminio y anclaje a la cubierta con tornillos [25].

MultiRail 25

Número de producto: 2002793

GTIN: 4251786211005

Figura 9. Rail de sujeción escogido. [24]

Dome 6.10 Peak

Product number: 2004125

GTIN: 4251786203291

Figura 10. Sistema de elevación escogido. [25]

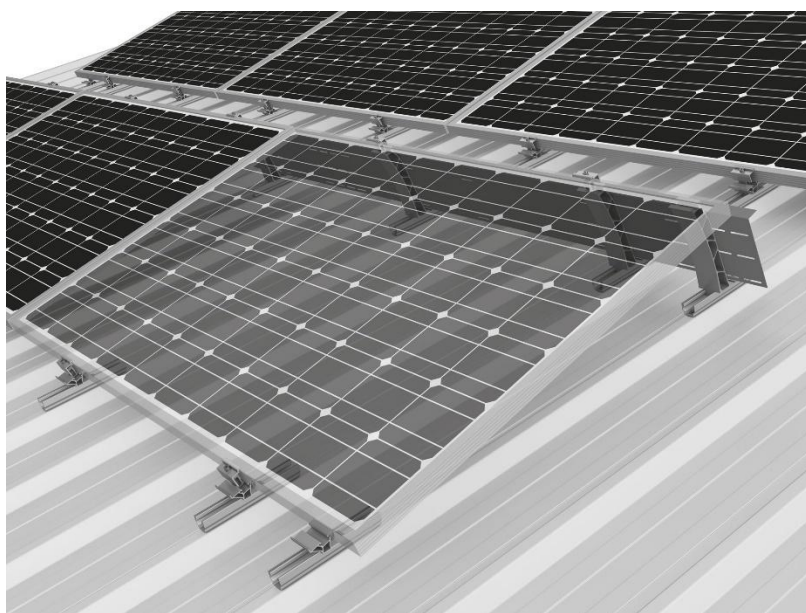


Figura 11. Estructura de sujeción y elevación de los paneles. [25]

Para conocer cuál debe ser la inclinación con la que se deben colocar los paneles, se calcula el ángulo óptimo de generación solar para la localización de la nave. Este óptimo lo es tal bajo la premisa de máxima generación anual. En otras circunstancias podría ser necesario el óptimo de máxima generación en verano o el de máxima generación en invierno. Por ejemplo, en una instalación solar aislada con

almacenamiento en batería, podría interesar optimizar la generación invernal para mejorar la autonomía del sistema en los meses malos. Este ángulo es conocido mediante la siguiente expresión, siendo ϕ la latitud del emplazamiento.

$$\beta_{OPT} = 3,7 + 0,69 \times \phi = 3,7 + 0,9 \times 43,46 = 33,7^\circ$$

Expresión 7. Ángulo óptimo de inclinación de los paneles.

Para realizar los cálculos, se deja en 33° . Por lo tanto, los paneles necesitarán tener una inclinación de 33° y, si la propia cubierta ya cuenta con 8° de inclinación, los paneles sobre la cubierta deberán tener un ángulo de 25° tal y como se aprecia en la Figura 12.

6.6 DISPOSICIÓN

La disposición de los paneles sobre la cubierta es un aspecto clave del dimensionamiento de la instalación ya que nos repercute de forma directa en asuntos como la eficiencia de la instalación, el aprovechamiento del espacio o la simplicidad del montaje. En este caso se ha optado por una distribución simétrica de los paneles considerando tanto las dimensiones de la cubierta, el mantenimiento y la seguridad.

La orientación de los paneles solares es un aspecto muy importante que permite maximizar la captación solar a lo largo del año. Por eso, al estar situados en el hemisferio norte, la orientación óptima es hacia el sur. Esta configuración permite aprovechar al máximo la radiación solar diaria dado que recibe una mayor cantidad de energía durante las horas centrales del día. Por eso todos los paneles han sido orientados al sur.

Otro aspecto primordial es el cálculo de las sombras, que afecta también de manera directa al diseño de la disposición. Para calcular la distancia que se debe dejar entre un panel y otro sin que le afecte la sombra del primero, ha sido situado un panel sobre la cubierta con una inclinación de 25° para que en total conserve el ángulo óptimo. Una vez situado, se considera uno de los días más desfavorables del año, el 20 de diciembre, y se toma la elevación del sol más baja de ese día de entre las horas de generación solar. Se escoge esa fecha ya que está muy próxima al solsticio de invierno, día con menos horas de sol al año.

La elevación se halla a través de la página “SunEarthTools” [26]. Esta página permite conocer las características del sol para una fecha y una ubicación concretas. En consecuencia, introduciendo los datos mencionados, se obtiene la elevación del sol más baja sobre las 15:00 h con un ángulo de $12,92^\circ$.

Ese ángulo indica la situación más desfavorable por lo que por debajo de ese ángulo, el sol también actúa, pero la generación de energía no es significativa al ser muy baja la radiación del sol.

Trabajando con trigonometría, se obtiene la distancia a la que se debe instalar el siguiente panel considerando el ángulo de $12,92^\circ$, que se ha redondeado a 13° para realizar los cálculos. A continuación se muestran los cálculos realizados en la Figura 12 y Figura 13.

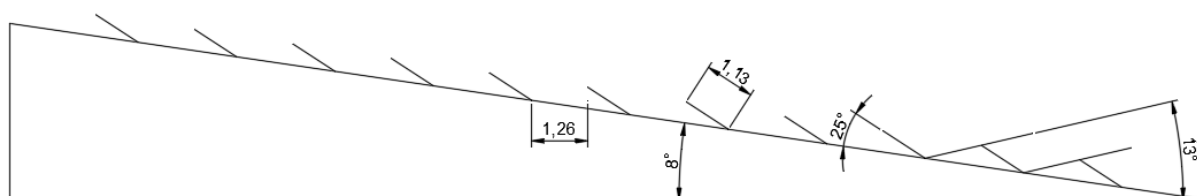


Figura 12. Disposición de los paneles. Distancias en metros y ángulos en grados sexagesimales (vista perfil). [Elaboración propia]

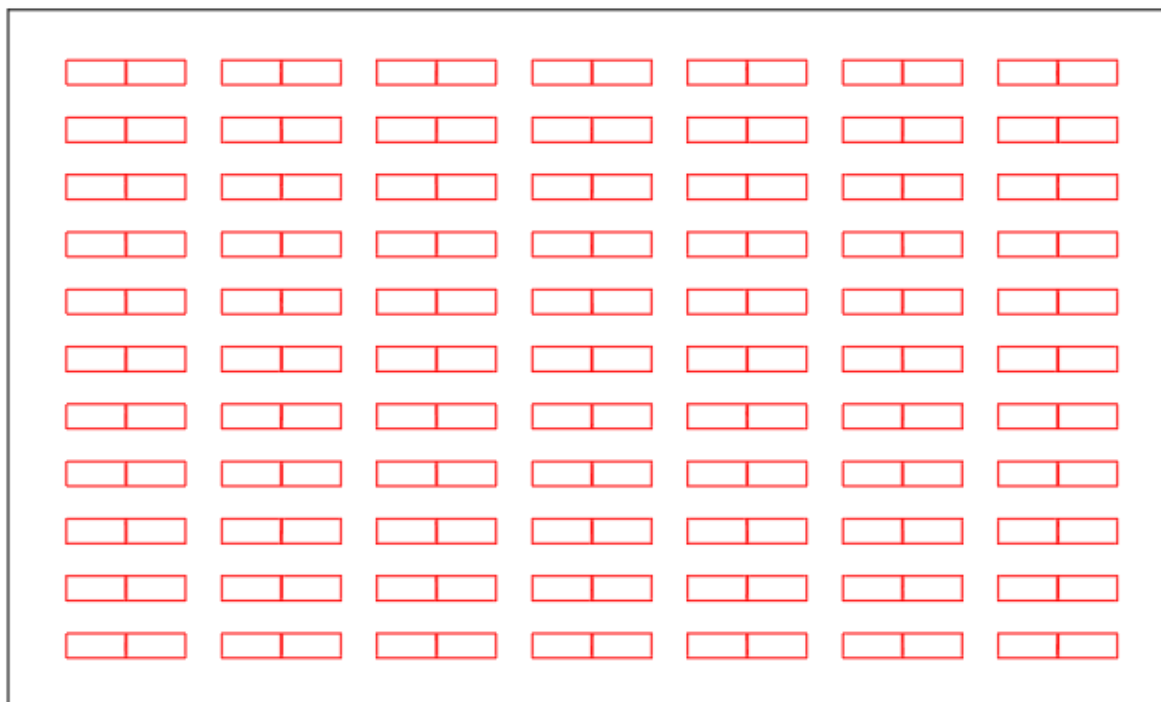


Figura 13. Disposición de los paneles (vista planta). [Elaboración propia]

Como se aprecia en la Figura 13, se trata de una distribución simétrica de manera que se simplifica la instalación y los cálculos. Se ha dejado un margen de seguridad en los cuatro lados con respecto al borde de la cubierta por seguridad. Respecto al lado superior e inferior, se ha dejado una distancia de 2,2 m y respecto al lado izquierdo y derecho se ha dejado una distancia de 1,9 m.

Se ha dividido en 7 tramos con 2 filas contiguas en cada tramo y en total cada tramo posee 22 paneles, 11 en cada fila. Así pues, se ha dejado un pasillo entre cada tramo con la intención de dejar un paso para mantenimiento de los paneles y también por seguridad. La distancia de estos pasillos es de 1,4 m y permite acceder tanto a los paneles del tramo de la izquierda como los de la derecha.

Por último, como se ve en la Figura 13, la distancia entre los paneles de una misma fila es de 1,26 m. Esta distancia viene condicionada por la sombra entre un panel y el siguiente como se ha comentado anteriormente y es la que se debe respetar entre los paneles para que trabajen a máximo rendimiento sin tener ninguna sombra.

Con esta disposición se conforma un total de 154 paneles lo que significa un buen número para poder obtener una gran cantidad de energía.

6.7 POTENCIA A INTALAR

En este apartado se determina la potencia instalada para la instalación fotovoltaica a partir de los paneles que se han situado. Como la instalación cuenta con 154 paneles de 590 W cada uno, la potencia instalada es:

$$P_{instalada} = N^{\circ}_{paneles} \times P_{panel} = 154 \times 590 = 90860 \text{ W}$$

Expresión 8. Potencia total instalada.

Para conocer la producción anual a la que se puede optar con esta instalación, se emplea la página web de “PVGIS”, proporcionada por la Unión Europea [4]. Esta web realiza automáticamente los cálculos de estimaciones de generación basándose en la ubicación proporcionada y en sus históricos de datos de radiación solar.

Una vez dentro, se introducen la localización de la nave industrial, la potencia instalada (90,86 kWp), y también el ángulo con el que están dispuesto los paneles que, en nuestro caso, es el óptimo (33°). El azimut en nuestro caso es 0° debido a que está orientado perfectamente al sur, y se asumen unas pérdidas del sistema del 14%, que es un valor estándar para este tipo de instalaciones.

Con todos estos datos introducidos, se visualizan los resultados observando que se obtiene una producción anual de 106805,73 kWh.

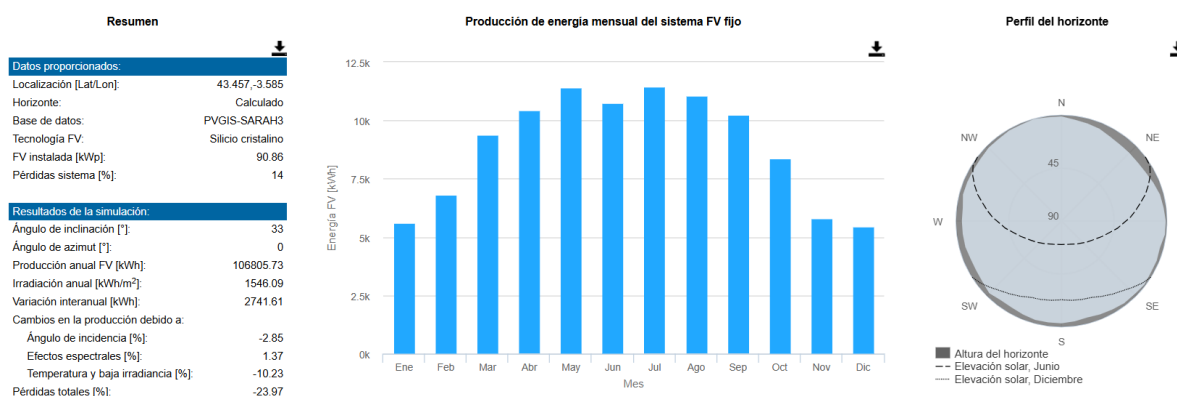


Figura 14. Producción simulada en la página PVGIS. [4]

6.8 AGRUPAMIENTOS

Una vez definida la posición de los módulos sobre la cubierta, se procede al diseño del sistema de agrupamientos eléctricos. Esta etapa consiste en organizar la conexión de los paneles de forma que se garantice el correcto funcionamiento de la instalación, respetando los límites de tensión y corriente del sistema, y asegurando un rendimiento óptimo de todos los componentes.

Para ello se han definido agrupaciones diferenciadas por tramos, lo que permite adaptar el comportamiento eléctrico de cada parte de la instalación a la variabilidad de la radiación solar a lo largo del día. Esta organización facilita además la monitorización, el mantenimiento y la integración posterior con el inversor y el resto de los componentes eléctricos del sistema.

El objetivo de este diseño es obtener una agrupación que nos permita la máxima eficiencia energética con la mayor simplicidad posible en el cableado y respetando los límites con el inversor seleccionado.

En la Figura 15, se puede observar dos agrupamientos pertenecientes a uno de los tramos.

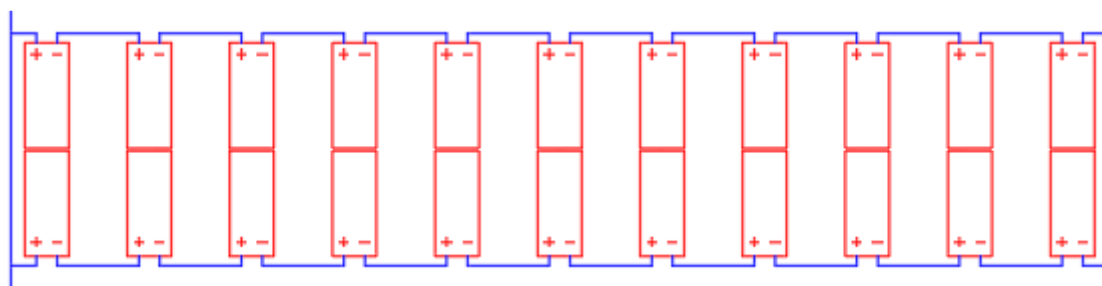


Figura 15. Dos cadenas de paneles de uno de los tramos. [Elaboración propia]

Como se ve en la Figura 15, se muestran dos cadenas contiguas formadas cada una por 11 paneles. El diseño completo está formado por 14 cadenas. Cada cadena se conecta entre sí en serie y después, entre ellas, están conectadas en paralelo con el fin de no sobrepasar la tensión límite que nos marca el inversor.

La conexión de los paneles de una misma cadena se realiza conectando el polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente. Esta conexión permite

mantener la misma corriente para toda la cadena. Sin embargo, la tensión no se mantiene puesto que es la suma de la tensión de cada panel.

En cambio, la conexión de las cadenas entre sí se realiza en paralelo. Se conecta el polo positivo de la primera cadena con el polo positivo de la segunda por un lado, y el polo negativo de la primera cadena con el polo negativo de la segunda por otro. Esta configuración mantiene constante la tensión, pero no la corriente, ya que se suma la corriente de cada cadena.

En el Plano 7 del anexo 4 se observa la configuración eléctrica completa de todas las cadenas. Ahí se puede observar cómo se ha llevado por un lado de la cubierta el cable positivo y por el otro lado el cable negativo. Con esto se consigue no tener mucha diferencia de distancia entre el cableado del polo positivo y el del polo negativo a la hora de realizar la conexión paralelo. Esto permite reducir la resistencia del cableado y disminuir la caída de tensión, que es un factor muy importante para tener en cuenta.

6.9 CÁLCULOS

En este apartado se desarrolla el análisis técnico del sistema eléctrico de la instalación fotovoltaica, con el objetivo de validar el correcto dimensionamiento de todos los componentes del sistema solar así como de las líneas de energía en corriente continua (CC) y en corriente alterna (CA). Este análisis es imprescindible para garantizar la seguridad, eficiencia y fiabilidad de la instalación durante su vida útil.

Los cálculos se dividen en dos bloques: unos correspondiente al lado de generación en corriente continua, que comprende desde los paneles hasta el inversor; y otro relativo al lado de evacuación en corriente alterna, que comprende desde el inversor hasta el punto de conexión del cuadro eléctrico general. Para ambos casos se aplica la normativa y criterios expuestos en apartados anteriores sobre el diseño de la instalación solar fotovoltaica conectada a red.

En corriente continua se calcula la resistividad de los cables y, a partir de ahí, las caídas de tensión en cada zona junto con la potencia. En corriente alterna se calculan las corrientes de diseño a partir de la potencia generada por los paneles fotovoltaicos

e inversores seleccionados, así como las caídas de tensión y las longitudes del cableado. Las caídas de tensión en cada tramo se deben encontrar dentro de los límites establecidos: menor del 1,5% tanto para el lado de corriente continua como para el lado de corriente alterna. También se evalúan las pérdidas de potencia asociadas a dicha caída, expresadas tanto en vatios como en porcentaje respecto a la potencia total transportada.

Además, se verifica que la sección de los conductores seleccionados no solo garantiza una caída de tensión aceptable, sino que también cumple con los requisitos térmicos necesarios para soportar la corriente máxima de forma segura. Para ello se contrasta con las tablas normalizadas en función del tipo de instalación, condiciones de agrupamiento, aislamiento del conductor y temperatura ambiente. Se incluye también la elección de las protecciones eléctricas, que deben ser adecuadas para las corrientes obtenidas, siguiendo un criterio de sobredimensionamiento del 125% sobre la corriente nominal.

Estos cálculos permiten justificar de forma técnica todas las decisiones y componentes utilizados comprobando que se cumple cada uno de ellos.

Los cálculos se han estructurado en varias etapas. En la Tabla 43 y Tabla 44 se han realizado los cálculos de corriente continua, mientras que en la Tabla 45 se recogen los cálculos de corriente alterna.

A continuación se muestran las expresiones utilizadas para completar las tablas mencionadas:

Corriente continua

$$R = \frac{L_1 + L_2}{S \times \sigma}$$

Expresión 9. Resistencia de los conductores en CC.

$$\Delta U = I \times \frac{L_1 + L_2}{S \times \sigma}$$

Expresión 10. Caída de tensión en CC.

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U}{U} \times 100$$

Expresión 11. Porcentaje de caída de tensión en CC.

$$\Delta P = \Delta U \times I$$

Expresión 12. Variación de potencia en CC.

$$\frac{P}{m} = \frac{\Delta P}{L}$$

Expresión 13. Variación de potencia por metro.

$$P_{TOTAL} = V_{modulo} \times I$$

Expresión 14. Potencia total en CC.

Corriente alterna

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V}$$

Expresión 15. Corriente de salida del inversor en CA.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \times I \times L}{S \times \sigma}$$

Expresión 16. Caída de tensión en CA.

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U}{U} \times 100$$

Expresión 17. Porcentaje de caída de tensión en CA.

$$\Delta P = \frac{3 \times I^2 \times L}{S \times \sigma}$$

Expresión 18. Variación de potencia en CA.

$$\Delta P(\%) = \frac{\Delta P}{P} \times 100$$

Expresión 19. Porcentaje de variación de potencia en CA.

El parámetro σ , presente tanto en corriente continua como alterna, representa la conductividad del cobre y se obtiene como:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{0,01786} = 56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$$

Expresión 20. Conductividad del cobre.

6.10 INVERSOR

Un inversor de placas solares es un convertidor que transforma la corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna. Esta corriente es la que se utiliza en la nave industrial o se vierte a la red eléctrica. La función del inversor en un sistema fotovoltaico es fundamental para el funcionamiento de la instalación.

Cuando las placas fotovoltaicas reciben la luz del sol, el efecto fotoeléctrico hace que se produzca corriente continua. Los circuitos dentro de las células fotovoltaicas recogen esa energía, que será la que se use para el interior de la nave o verter a la red.

Es aquí donde entra en juego el inversor solar. La mayoría de las viviendas y esta nave industrial usan electricidad de corriente alterna, no de corriente continua, por lo que la energía producida por las placas solares no es útil por sí misma. Cuando los paneles solares recogen la luz solar y la convierten en energía, ésta se envía al inversor, que recibe la electricidad de corriente continua y la convierte en corriente alterna.

En el caso de este proyecto se van a emplear dos inversores para repartir la tensión, corriente y potencia. Uno está destinado para una mitad de la cubierta y el otro para la otra mitad. Ambos inversores serán idénticos y, para escogerlos, se justifica su elección en base a criterios técnicos, normativos y operativos. Se analiza su potencia nominal de salida, la capacidad máxima de entrada en corriente continua, el rango de tensión admisible y las protecciones integradas. También se verifica que el inversor pueda gestionar adecuadamente la potencia generada por los paneles sin incurrir en sobredimensionamientos excesivos ni limitaciones técnicas.

El inversor seleccionado es el “SMA Sunny Highpower PEAK3 100kW”, ideal para autoconsumo de conexión a red con 1 MPPT con una eficiencia del 98,4% y una corriente de entrada máxima de 186 A por entrada, con refrigeración por convección. Destaca por su alta densidad de potencia ideal para instalaciones industriales. Resistente a los cortocircuitos, las sobrecargas y a las altas temperaturas, proporciona un funcionamiento sin problemas de la instalación solar trifásica durante muchos años [27]. También ofrece protección IP65 [16].

Tabla 25. Características del inversor. [27]

Datos técnicos	
Potencia nominal	100 kW
Pico potencia	100 kW
Máxima tensión de entrada	1500 V
Máxima corriente de entrada	180 A
Número MPPT	1
Potencia FV máxima	200000 W
Eficiencia (Pico)	98.7 %
Dimensiones	770 x 830 x 462 mm
Peso	99 kg



Figura 16. Inversor seleccionado. [27]

La conexión al inversor se realiza diferenciando dos partes, por un lado la corriente continua y por el otro corriente alterna.

En la parte de continua, los paneles están agrupados en cadenas y estas a su vez en paralelo. El paralelo se conecta directamente a la entrada MPPT del inversor junto con las pertinentes protecciones, lo que permite equilibrar la energía captada en función de la radiación solar del momento.

En el lado de alterna, se conecta desde el inversor hasta el cuadro general de distribución. A esta conexión también se le añaden las protecciones correspondientes que garantizan la seguridad de la instalación.

6.11 PROTECCIONES

El correcto diseño del sistema de protecciones eléctricas es fundamental para garantizar la seguridad de las personas, de la instalación y de los equipos frente a posibles fallos eléctricos. En una instalación fotovoltaica conectada a red, es obligatorio incorporar elementos de protección tanto en el lado de corriente continua, entre los módulos solares y el inversor; como en el lado de corriente alterna, entre el inversor y el punto de conexión a la red interior.

En este apartado se detallan las protecciones seleccionadas para cada parte del sistema, atendiendo tanto a las normativas establecidas, como a las recomendaciones de los fabricantes de los componentes utilizados.

En el lado de corriente continua se consideran protecciones térmicas y contra sobreintensidades, cortocircuitos, sobretensiones y subtensiones, de forma que permitan proteger el inversor correctamente. Entre las protecciones utilizadas están los UVPD, que son protecciones frente a sobretensiones causadas por rayos o conmutaciones en la red eléctrica, fusibles, disyuntores o sensores de temperatura. Cuando estos detectan un parámetro fuera de rango, ya sea de tensión, corriente o temperatura, la protección correspondiente salta desconectando el inversor.

En el lado de corriente alterna, se instalan protecciones contra sobretensiones o sobreintensidades trifásicas. Estas protecciones son interruptores magnetotérmicos trifásicos (PIAs). Estos interruptores se colocan a la salida del inversor y cubren las 3 fases y el neutro (R,S,T y N) del sistema trifásico. Para escoger el tipo de PIA que se debe seleccionar, se recurre a la corriente de línea calculada en la tabla de alterna que nos da 86,6 A. Esta corriente nos da la referencia dado que estas protecciones tienen parámetros normalizados.

I_{max} (A)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
----------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 26. Corrientes normalizadas para las protecciones PIA. [28]

Como es mostrado en la Tabla 26, se necesitaría seleccionar un PIA de 160 A para que pueda cubrir la instalación. Por eso, se escoge un PIA de 4x160.

6.12 EMPRESA ELÉCTRICA

La empresa elegida para la distribución de la energía eléctrica generada es Solar360, la unión de Movistar y Repsol para dar servicio de autoconsumo.

La elección de esta empresa es debida al amplio abanico de opciones y tarifas que presenta, además de su consolidación en este tipo de proyectos lo que aporta una garantía.

No se ha podido obtener un presupuesto concreto para esta instalación, ya que su elaboración requeriría el envío del proyecto completo, así como datos personales y de contacto a empresas proveedoras. Dado que este trabajo tiene un fin estrictamente académico, no se ha considerado oportuno realizar ese trámite.

No obstante, se ha conseguido conocer de forma genérica el precio por kilovatio (kWh) para una instalación fotovoltaica con excedentes en el sistema Solar 360 de Repsol. Generalmente se encuentra en el rango de 0.08 €/kWh a 0.189 €/kWh. Este precio puede cambiar según la tarifa contratada.

6.13 AMORTIZACIÓN

La instalación fotovoltaica proyectada, simplemente se plantea como una incorporación extra a la empresa sin afectar bajo ningún concepto a la producción. Se realiza con la intención de aportar múltiples beneficios en términos de sostenibilidad, imagen de empresa verde y ahorro energético, de acuerdo con los principios de los Objetivos de desarrollo sostenible, especialmente el ODS7 [1].

Por ello, para saber el periodo de amortización de la instalación, se va a realizar un estudio económico basado en los costes materiales estimados en el presupuesto del anexo 1 y en la producción de energía obtenida junto con el precio estimado de la empresa eléctrica.

La instalación diseñada tiene un coste total (únicamente material) de 43.750,28 €. Por otro lado, se sabe que produce 106805,73 kWh y multiplicándolo por el precio medio del kWh de la empresa solar360, se obtienen los beneficios. A los costes también se le añaden 2000 €/año de mantenimiento por lo que se tiene:

$$\text{Beneficio anual} = 106805,73 \text{ kWh} \times \left[\frac{0,08 + 0,189}{2} \right] = 14365,37 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Expresión 21. Beneficio anual de la instalación.

$$\text{Beneficio neto anual} = 14365,37 - 2000 = \frac{12365,37\text{€}}{\text{año}}$$

Expresión 22. Beneficio neto anual de la instalación.

$$\text{Amortización (años)} = \frac{43750,28}{12365,37} = 3,538 \text{ años}$$

Expresión 23. Amortización de la instalación.

Es decir, la instalación fotovoltaica, excluyendo costes de mano de obra y burocráticos, queda amortizada en 3 años y 7 meses aproximadamente, lo cual quiere decir que se recupera rápidamente la inversión inicial y es un proyecto muy recomendable para la empresa.

6.14 OBSERVACIONES

Este apartado se destina a reflejar que durante el proceso de dimensionamiento de la instalación han existido varios contratiempos que han provocado replantear ciertas cuestiones. El primero a destacar fue a la hora de realizar la disposición de los paneles sobre la cubierta. En un principio la idea era posicionar los paneles de forma coplanar con la cubierta y dar a la cubierta el ángulo óptimo de generación. Así pues, habría capacidad para más paneles y se obtendría una mayor generación.

Sin embargo, durante uno de los cálculos trigonométricos con el ángulo de la cubierta para conocer la altura hasta la cumbre, se detectó que, al ser un ángulo demasiado grande y tener un ancho de cubierta de 27 m, la altura resultante era de unos 17 m aproximadamente adicionales a los 5 m que de la nave. Esto fue considerado inapropiado y fue necesario reestructurar el diseño y rehacer los cálculos.

Se optó entonces por asignar un ángulo razonable a la cubierta de 8° e instalar los paneles sobre la misma con una estructura que permitiera inclinar los paneles. De esta manera, se consigue mantener el ángulo óptimo de generación sobre los paneles con una inclinación de cubierta razonable. Desgraciadamente, esto implica potenciales sombras generadas por unos paneles sobre otros, por lo que fue necesario realizar el cálculo de eliminación de sombras explicado durante el dimensionamiento.

Otra alternativa podría haber sido colocar los paneles de manera coplanar sobre la cubierta y asignar 8° de inclinación a la cubierta. De esta forma se mantiene una altura razonable de la nave y se puede instalar un mayor número de paneles dado que no

haría falta el cálculo de sombras. Sin embargo, con este modelo no se tiene en cuenta el ángulo óptimo de los paneles. Aun así, es el modelo que más producción anual genera, produciendo 67.496,75 kWh más anualmente que el modelo escogido. Sin embargo, tiene como inconveniente que sería más caro al haber más paneles y además, se pretende optar por la máxima eficiencia posible necesitando instalar los paneles con la inclinación óptima.

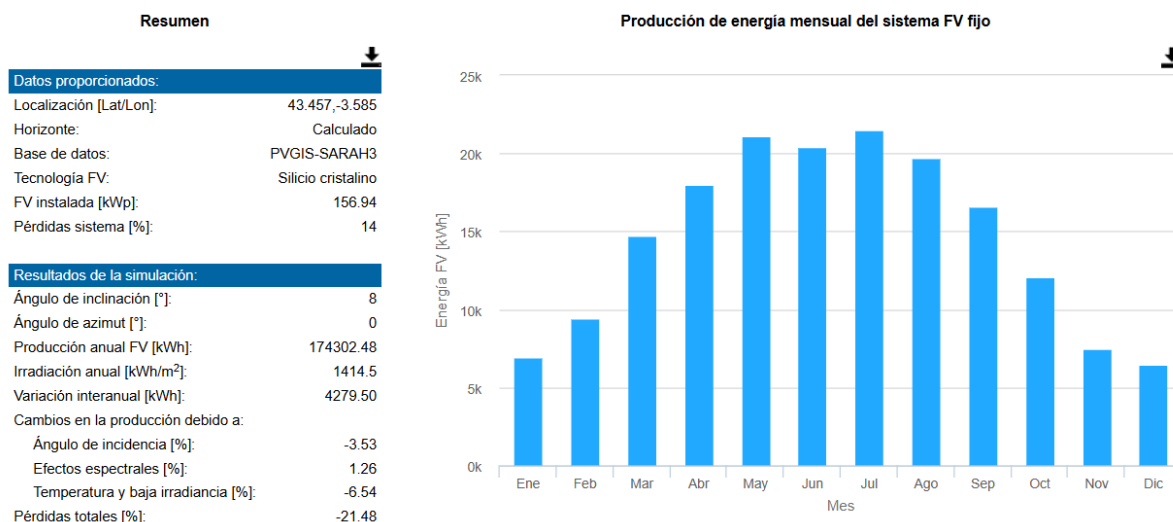


Figura 17. Estudio de la generación con los paneles coplanares y 8° de inclinación. [4]

En resumen, este último modelo aporta una mayor producción, pero es más costoso y sobredimensiona la instalación. En cambio, el modelo elegido, instalando un menor número de paneles pero con el ángulo óptimo calculado, permite realizar una instalación más acorde a las necesidades.

7 CONCLUSIONES

7.1 CONCLUSIONES GENERALES

A través de este proyecto, se ha logrado el objetivo de desarrollar la infraestructura eléctrica, de forma correcta y eficiente, de una nave industrial destinada a la fabricación de discos de freno. También se ha conseguido diseñar una instalación fotovoltaica sobre la cubierta para ayudar a la empresa con su imagen y maximizar los beneficios.

El resultado más relevante es el diseño de toda la instalación eléctrica de la nave. Se trata de un diseño complejo donde se han tenido que superar varios contratiempos, algo lógico en un proyecto de este tipo. Se ha conseguido alimentar a todos los equipos que se han considerado necesarios para una fábrica de este tipo. También se ha diseñado toda la instalación de iluminación de la nave, para la cual se han empleado luces LED. El aparcamiento exterior también ha sido alimentado, tanto para su iluminación como para los puestos de carga eléctrica. También se han situado las protecciones correctas en cada lugar de la instalación para garantizar la seguridad y desarrollar un trabajo limpio.

Todo ello se ha diseñado bajo las estrictas normas y criterios establecidos por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8].

Los cálculos realizados para el dimensionamiento eléctrico han sido satisfactorios y han permitido conocer las corrientes necesarias para cada equipo, así como las secciones de los conductores en cada tramo de los circuitos en base a las corrientes y, por último, la caída de tensión en cada toma, verificando que no sobrepasa la caída marcada por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8].

Un aspecto especialmente interesante ha sido la instalación de una batería de condensadores que ha permitido obtener la máxima eficiencia de la instalación, eliminando la potencia reactiva y elevando el factor de potencia hasta la unidad. Este hecho es más una situación ideal que no suele producirse, ya que eliminar toda la potencia reactiva es muy complicado. En la práctica se considera un valor óptimo factor de potencia cuando se sitúa entre 0,95 y 0,98.

Cabe destacar también el diseño de la instalación fotovoltaica sobre la cubierta. A pesar de algunas dificultades en la distribución de paneles, se ha conseguido ubicar un número elevado de paneles solares y definir todos los circuitos necesarios para su correcto funcionamiento.

Los cálculos realizados se han correspondido con lo previsto, por lo que se ha podido corroborar la correcta instalación de todos los elementos y el cumplimiento con la normativa. Además de esto, dichos cálculos han permitido conocer el tipo de inversor que se debía instalar y las protecciones necesarias ya que, en función de los valores obtenidos, se deben escoger unas u otras.

Además, la incorporación de una instalación fotovoltaica permite reflejar el compromiso de la empresa con la sostenibilidad y la eficiencia energética. Esta medida contribuye directamente al cumplimiento de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) [1], el ODS 12 (Producción y consumo responsables) [29] y el ODS 13 (Acción por el clima) [30]. A través de esta estrategia, la empresa no solo reduce su huella de carbono, sino que también avanza hacia un modelo productivo más responsable y alineado con los retos medioambientales actuales, proyectando una imagen de “empresa verde”.

En conclusión, se han cumplido todos los objetivos marcados inicialmente. Se ha pretendido realizar con la máxima precisión posible, asumiendo que pueden existir pequeños errores sin impacto relevante en el conjunto general del diseño.

Este proyecto ha permitido consolidar conocimientos adquiridos durante los estudios y adquirir otros nuevos, que abarcan desde el diseño organizativo de una empresa y la planificación de sus distintas áreas, hasta el desarrollo de una instalación eléctrica de baja tensión y una instalación solar fotovoltaica.

7.2 LÍNEAS FUTURAS

El desarrollo de este proyecto ha sido realizado, no solo pensando en las necesidades actuales de la empresa, sino también en las posibles futuras y mejoras que se puedan producir. A continuación se tratan todos los puntos donde se prevé una posible mejora y como se podría llevar a cabo.

Ampliación de equipos

En todas las salas de la nave se ha instalado una mayor potencia de la necesitada con la intención de facilitar las posibles correcciones que puedan existir. En concreto, se han instalado un 45% más de la requerida permitiendo ampliar el número de equipos y maquinaria para trabajar y aumentar la producción de discos de freno.

Ampliación de plantilla

Todas las áreas de trabajo han sido diseñadas con previsión de crecimiento, incluyendo puestos actualmente vacantes que permiten la incorporación futura de nuevos operarios u otro personal necesario. Esta planificación facilita una expansión ordenada y evita tener que realizar reformas o modificaciones importantes en la infraestructura en caso de aumento de la plantilla. Además, las zonas comunes (vestuarios, comedor, oficinas) también están preparadas si un aumento del volumen de empleados lo requiere.

Ampliaciones o actualizaciones de las instalaciones

Las instalaciones se han ubicado sobre una parcela de 5441 m² y ocupan un total de 1516,055 m². Esto significa que existen 3924,94 m² para la ampliación de las instalaciones o construcción de nuevas áreas.

La instalación fotovoltaica también se podría aumentar utilizando la cubierta de la caseta exterior o con la instalación de un sistema de almacenamiento de energía con baterías para aprovechar el exceso de energía solar en determinados momentos.

Mejoras en eficiencia energética

Los sistemas de iluminación y climatización cuentan con un control manual para encenderlos o apagarlos. Si estos sistemas se intercambiaran por sensores de

presencia y temperatura respectivamente, se reduciría en cierta forma el consumo por parte de estos dos equipos.

Paralelamente, con el paso del tiempo se desarrollarán máquinas más eficientes que generen un menor consumo, lo que serían una gran opción para la empresa y provocarían una mejora de la eficiencia energética del sistema.

Sostenibilidad y medio ambiente

Hoy en día, se está viendo cada vez más la importancia que tiene adoptar medidas contra la emisión de gases y la destrucción ambiental que esto conlleva. Por eso, se ha realizado la instalación de una instalación fotovoltaica y se controlan todos los consumos de la mejor manera posible.

Una de las razones fundamentales por las que se ha diseñado la instalación solar es la importancia de la sostenibilidad y el medio ambiente, y es que viendo cómo evoluciona este sector, se ha visto necesario implementar esta instalación que va a permitir en el futuro una serie de prioridades y privilegios frente a otras empresas competidoras que no adopten este tipo de medidas.

8 REFERENCIAS

[1] «United Nations - Sustainable Development Goals, ODS 7» [En línea]. Available: <https://sdgs.un.org/goals/goal7>. [Último acceso: Junio 2025].

[2] «Autodesk AutoCAD,» [En línea]. Available: <https://www.autodesk.com/es/products/autocad/overview>. [Último acceso: Junio 2025].

[3] «Microsoft Excel,» [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel>. [Último acceso: Junio 2025].

[4] «PVGIS,» [En línea]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/. [Último acceso: Junio 2025].

[5] «BREMBO,» [En línea]. Available: <https://www.brembo.com/es/autom%C3%B3viles/equipo-original/productos/discos>. [Último acceso: Junio 2025].

[6] «ACEROMAFE,» [En línea]. Available: <https://www.aceromafe.com/hierro-fundido/#:~:text=Propiedades%20y%20caracter%C3%ADsticas%20del%20hierro%20fundido,-El%20hierro%20fundido&text=Ofrece%20una%20excelente%20ductilidad%20y,al%20desgaste%20y%20conductividad%20t%C3%A9rmica>. [Último acceso: Junio 2025].

[7] «MYMAP,» [En línea]. Available: <https://www.mymap.ai/es/blog/diagrama-flujo-proceso-creacion-discos-freno>. [Último acceso: Junio 2025].

[8] «BOE,» Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2002/BOE-A-2002-18099-consolidado.pdf>. [Último acceso: Junio 2025].

[9] «BOE,» Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. [En línea]. Available:

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244/dof/spa/pdf>. [Último acceso: Junio 2025].

[10] «BOE,» Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-13645-consolidado.pdf>. [Último acceso: Junio 2025].

[11] «FOTOCASA,» [En línea]. Available: <https://www.fotocasa.es/es/comprar/terreno/meruelo/meruelo/163437380/d?from=list>. [Último acceso: Junio 2025].

[12] «MATRAMI,» [En línea]. Available: <https://matrami.com/noticias/eficiencia-energetica-para-tu-negocio-con-instalaciones-electricas-en-naves-industriales/>. [Último acceso: Junio 2025].

[13] «ETKHO,» [En línea]. Available: <https://www.etkho.com/sistemas-electricos-tn-caracteristicas-tipos-y-redes-tn-s-en-instalaciones-electricas-de-hospitales/>. [Último acceso: Junio 2025].

[14] «ADAJUSA,» [En línea]. Available: https://adajusa.es/es/picas-y-accesorios-de-puesta-a-tierra/29010-pica-de-tierra-15m-x142mm-100-micras-8445340290100.html?gad_source=1&gad_campaignid=17335650459&gbraid=0AA_AAADnod1u47y7L1573nMkbKv5YoufO9&gclid=CjwKCAjwx8nCBhAwEiwA z_07pySYGANw2UAmh8bZJNtjU_Jd1nnML2ugt-CSmbQW3t3xgMV241RoCvXMQAvD_BwE. [Último acceso: Junio 2025].

[15] «DIELCO,» [En línea]. Available: <https://www.dielco.co/articulos/qu%C3%A9-es-un-cable-xlpe>. [Último acceso: Junio 2025].

[16] «Ministerio de Industria, Comercio y Turismo,» Guía técnica de aplicación del REBT - Anexo 1, [En línea]. Available: https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-tension/Documents/bt/guia_bt_anexo_1_sep03R1.pdf. [Último acceso: Junio 2025].

[17] «EIG INTEGRAL,» [En línea]. Available: <https://www.eigintegral.com/cuadros-electricos-proteccion-clave-infraestructuras-industriales/>. [Último acceso: Junio 2025].

[18] «REPSOL,» [En línea]. Available:

<https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/que-es-cgmp/#:~:text=Este%20cuadro%20es%20un%20panel,cortocircuitos%20y%20otros%20problemas%20el%C3%A9ctricos>. [Último acceso: Junio 2025].

[19] «RISOUL,» [En línea]. Available: <https://www.risoul.com.es/blog/compensacion-de-la-energia-reactiva-y-su-papel-en-el-incremento-del-factor-de-potencia>. [Último acceso: Junio 2025].

[20] «SCHNEIDER ELECTRIC,» [En línea]. Available:

<https://www.se.com/es/es/product/VLVFW2N03509AB/bater%C3%ADa-de-condensadores-varset-premium-fija-de-125-kvar/>. [Último acceso: Junio 2025].

[21] «ZINCO,» [En línea]. Available: <https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas/energia-solar-y-cubiertas-verdes>.

[Último acceso: Junio 2025].

[22] «SOLARSHOP,» [En línea]. Available: https://www.solarshop.pt/es/painel-solar-futurasun-fu590mv-silk-nova-duetto-590w-n-type?srsIid=AfmBOoqLXCgX8ZTLynxAuErWj0tHv8jbcLCL6i_uAsl2C083foa-GFGI.

[Último acceso: Junio 2025].

[23] «K2 SYSTEMS,» [En línea]. Available: <https://k2-systems.com/es/>. [Último acceso: Junio 2025].

[24] «K2 SYSTEMS - Multirail,» [En línea]. Available: <https://catalogue.k2-systems.com/en/multirail-25/2002793>. [Último acceso: Junio 2025].

[25] «K2 SYSTEMS - Dome 6.10 Peak,» [En línea]. Available: <https://catalogue.k2-systems.com/en/dome-6.10-peak/2004125>. [Último acceso: Junio 2025].

[26] «SUN EARTH TOOLS,» [En línea]. Available: <https://www.sunearthtools.com/>. [Último acceso: Junio 2025].

[27] «TIENDA SOLAR,» [En línea]. Available: <https://tienda-solar.es/es/inversores-solares/1427-inversor-solar-sma-sunny-highpower-peak3-100kw>. [Último acceso: Junio 2025].

[28] «LaObra,» [En línea]. Available:

<https://www.laobra.es/magnetotermicos/trifasicos/#:~:text=Los%20valores%20m%C3%A1s%20comunes%20en,160%2C%20200%2C%20250%20A>. [Último acceso:

Junio 2025].

[29] « United Nations - Sustainable Development Goals, ODS 12» [En línea].

Available: <https://sdgs.un.org/goals/goal12>. [Último acceso: Junio 2025].

[30] «United Nations - Sustainable Development Goals, ODS 13» [En línea].

Available: <https://sdgs.un.org/goals/goal13>. [Último acceso: Junio 2025].

9 ANEXOS

9.1 ANEXO 1: PRESUPUESTO

A continuación se realiza una estimación de los costes de los materiales y equipos necesarios para desarrollar este proyecto. Este presupuesto no incluye los costes asociados a la mano de obra, tramitaciones ni ejecución física del proyecto.

Está estructurado en dos bloques, parte eléctrica y parte fotovoltaica, y finalmente se mostrará el presupuesto final.

9.1.1 Presupuesto infraestructura eléctrica

Tabla 27. Presupuesto de la infraestructura eléctrica. [Elaboración propia]

Concepto	Unidades	Coste unitario	Coste
Cableado 3×1,5 mm ² (trifásico)	575,34 m	1,31 €/m	753,70 €
Cableado 3×2,5 mm ² (trifásico)	3,13 m	2,07 €/m	6,47 €
Cableado 3×4 mm ² (trifásico)	12,41 m	2,77 €/m	34,39 €
Cableado 3×6 mm ² (trifásico)	32,48 m	4,02 €/m	130,58 €
Cableado 3×10 mm ² (trifásico)	73,35 m	5,36 €/m	393,15 €
Cableado 3×16 mm ² (trifásico)	48,24 m	8,39 €/m	404,76 €
Cableado 3×25 mm ² (trifásico)	124,69 m	13,58 €/m	1693,29 €
Cableado 3×35 mm ² (trifásico)	148,98 m	17,66 €/m	2631,06 €
Cableado de protección pica de tierra	4 m	3 €/m	12 €
Base de enchufe trifásica con protecciones incluidas	20 uds	440 €/ud	8800 €

Base de enchufe monofásica con protecciones incluidas	33 uds	40 €/ud	1320 €
Cuadro eléctrico general con protecciones incluidas	1 ud	1136 €/ud	1374,56 €
Pica de tierra	1 ud	11,5 €/ud	11,5 €
Batería de condensadores	1 ud	5.756,67 €/ud	5.756,67 €
TOTAL			23.322,13 €

9.1.2 Presupuesto instalación fotovoltaica

Tabla 28. Presupuesto instalación solar. [Elaboración propia]

Concepto	Unidades	Coste unitario	Coste
Cableado monofásico	494,64 m	1,94 €/m	959,6 €
Cableado trifásico	8 m	35,32 €/m	282,56 €
Panel solar	154 uds	126,02 €/ud	19407,08 €
Rail de sujeción	616 uds	4,02 €/ud	2476,32 €
Cúpula de elevación	308 uds	4,69 €/ud	1444,52 €
Inversor	2 uds	9.590,10 €/ud	19180,2 €
TOTAL			43.750,28 €

9.1.3 Presupuesto total

Tabla 29. Presupuesto final. [Elaboración propia]

Concepto	Coste
Infraestructura eléctrica	21.362,13 €
Instalación fotovoltaica	43.750,28 €
TOTAL	67.072,41 €

9.2 ANEXO 2: PLIEGO DE CONDICIONES

9.2.1 Definición y alcance del pliego

El objeto de este documento es fijar las condiciones técnicas mínimas que debe cumplir tanto infraestructura eléctrica de la nave para la correcta alimentación a todos los equipos, como la instalación fotovoltaica para una optimizada generación de energía, especificando los requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad.

El ámbito de aplicación de este documento se extiende a todos los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que forman parte de la instalación.

En determinados supuestos se podrán adoptar, por la propia naturaleza de este o del desarrollo tecnológico, soluciones diferentes a las exigidas en este documento, siempre que quede suficientemente justificada su necesidad y que no impliquen una disminución de las exigencias mínimas de calidad especificadas en el mismo.

9.2.2 Condiciones y normas de carácter general

La instalación objeto de este proyecto deberá ejecutarse cumpliendo con lo establecido en la normativa vigente, especialmente:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8] (REBT), aprobado por el Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002.
- Norma UNE-EN 12464-1 para la iluminación interior.
- Real Decreto ley 244/2019, de 5 de abril, que regula las condiciones administrativas técnica y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, que es la normativa principal que regula el consumo, producción y distribución de energía eléctrica en España.
- Prevención de Riesgos Laborales aprobada por la Ley 31/1995, de 8 de noviembre.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

9.2.3 Condiciones particulares

Condiciones técnicas

La instalación eléctrica desarrollada se corresponde con una instalación de baja tensión destinada a una nave industrial para la fabricación de discos de freno. Se considera una acometida trifásica en todas las partes de la nave, utilizando trifásica en la zona de fabricación y monofásica en el resto de la nave, junto con un esquema de conexión a tierra del tipo TN-S. Todo ello se diseña bajo las normas del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [8] (REBT).

Para todo el cableado del sistema, se utilizarán conductores de cobre con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE). Sus secciones se corresponden con la tabla de secciones normalizadas para cada caso, conforme a los criterios de intensidad admisible, número de circuitos agrupados y temperatura ambiente. Las canalizaciones se llevarán a cabo bajo bandejas, metálicas para la zona de fabricación y de PVC para el resto, perforadas en zonas accesibles.

La instalación incluirá un cuadro eléctrico general de distribución con todas sus protecciones necesarias contra sobrecargas, sobretensiones y cortocircuitos. Este cuadro alimentará a 9 circuitos separándolos entre ellos los de luz y carga.

De igual manera, también contendrá todas las tomas de corriente, diferenciando entre las de la zona de oficinas y las de la zona de fabricación, junto con sus protecciones asociadas y todas ellas deberán cumplir el criterio de caída de tensión permitido.

La instalación solar proyectada sobre la cubierta incluirá paneles solares monocromáticos, estructuras de sujeción y elevación de los paneles y cableado cuya sección vendrá determinada por la corriente y la caída de tensión admisible. Con ello se escogerá el inversor y las protecciones para el lado de corriente continua y alterna. La instalación cumple con la normativa aplicable en materia de energías renovables.

Condiciones facultativas

El proyectista plantea el diseño de las instalaciones con previsiones para futuras modificaciones o mejoras. Por ello, se contempla el dimensionando todos los circuitos

con un cierto margen de capacidad que permita albergar más potencia para instalar nuevos equipos o actualizarlos.

Asimismo, resulta conveniente realizar las siguientes consideraciones en fases futuras:

- Sistemas de almacenamiento de energía que permita acumular la energía solar y mejorar la producción.
- Automatización del sistema de climatización mediante la implementación de sensores de temperatura.
- Automatización del sistema de iluminación LED mediante la implementación de sensores de movimiento.
- Adaptación progresiva a nuevos estándares de eficiencia y sostenibilidad, tanto a nivel técnico como organizativo.

Condiciones económicas

Estas condiciones hacen referencia al coste de ejecución material del proyecto y a las posibles obligaciones contractuales del mismo.

Al tratarse de un proyecto académico, el presupuesto se ha limitado a los costes de los materiales principales y no se ha incluido ni la mano de obra ni los costes indirectos. Esto responde al carácter formativo del proyecto.

Los precios han sido estimados según distintos fabricantes de manera que se ha procurado ser lo más realista posible y orientado al tipo de proyecto realizado.

En un contexto real, también se incluiría las siguientes cuestiones:

- Forma de pago y plazos, a acordar entre promotor y contratista.
- Garantías de cumplimiento por parte del instalador o empresa constructora.
- Cláusulas de penalización o indemnización por retrasos o incumplimientos contractuales.

Estas condiciones podrían ser sustituidas o ampliadas mediante un contrato particular entre las partes implicadas

Condiciones legales

Las condiciones legales hacen referencia al marco jurídico y contractual bajo el cual se desarrollaría la ejecución de la instalación en un contexto real. Entre ellos destaca el perfil del contratista, la forma de adjudicación, la formalización del contrato y las responsabilidades del contratista. Si bien este proyecto tiene un carácter académico, no se establece ningún enfoque en este aspecto.

9.3 ANEXO 3: TABLAS DE CÁLCULOS

9.3.1 Infraestructura eléctrica

Tabla 30. Cos(ø) de todos las cargas e iluminación. [Elaboración propia]

	Sala	Ordenadores	Impresoras	Máquinas	TV	Puesto carga toro	Puesto carga vehículos	Maq. Aire	Inversor	Iluminación LED
OFICINAS	1	0,9	0,8	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	2	0,9	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	3	0,9	0,8	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	4	0,9	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	5	0,9	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	9	NA	NA	NA	0,9	NA	NA	0,95	NA	0,95
	10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
FÁBRICA	13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	15	NA	NA	0,75	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	16	NA	NA	0,75	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	17	NA	NA	0,75	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	19	NA	NA	1	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	21	NA	NA	0,75	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
PASILLOS	23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	24	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95

	25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	26	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	27	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	27	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	29	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	30	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	30	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	0,95
APARCAMIENTO	32	NA	NA	NA	NA	0,85	0,85	0,95	NA	0,95
CASETA	33	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	0,9	0,95
CLIMATIZACIÓN	34	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,95	NA	NA

Tabla 31. Intensidades de las cargas. [Elaboración propia]

	Sala	Ordenadores (A)	Impresoras (A)	Máquinas (A)	TV (A)	Puesto carga toro (A)	Puesto de carga vehículos (A)	Maq de aire (A)	Inversores (A)	Corriente mínima total (A)	Corriente total (10% seguridad-15% otras cargas-20% futuras mejoras) (A)
OFICINAS	1	2,4155	0,8152	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3,2307	4,6845
	2	2,4155	0,0000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2,4155	3,5024
	3	19,3237	4,8913	NA	NA	NA	NA	NA	NA	24,2150	35,1117
	4	24,1546	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	24,1546	35,0242
	5	24,1546	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	24,1546	35,0242
	6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	9	NA	NA	NA	0,7729	NA	NA	NA	NA	0,7729	1,1208
	10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
FÁBRICA	13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	15	NA	NA	28,8675	NA	NA	NA	NA	NA	28,8675	41,8579
	16	NA	NA	27,7128	NA	NA	NA	NA	NA	27,7128	40,1836
	17	NA	NA	48,1125	NA	NA	NA	NA	NA	48,1125	69,7632
	18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	19	NA	NA	7,2169	NA	NA	NA	NA	NA	7,2169	10,4645
	20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	21	NA	NA	0,4619	NA	NA	NA	NA	NA	0,4619	0,6697
	22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
PASILLOS	23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500

	24	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	26	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	27	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	27	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	29	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	30	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	30	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,0000	0,4500
APARCAMIENTO	32	NA	NA	NA	NA	16,98	16,9809	NA	NA	33,9618	49,2446
CASETA	33	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	16,0375	16,0375	23,2544
CLIMATIZACIÓN	34	NA	NA	NA	NA	NA	NA	45,5803	NA	45,5803	66,0914

Tabla 32. Intensidades de las tomas de iluminación. [Elaboración propia]

	Sala	Iluminación LED (A)	Corriente total (10% seguridad-15% otras cargas-20% futuras mejoras) (A)
OFICINAS	1	0,0773	0,112084668
	2	0,0618	0,08953833
	3	0,1325	0,192116705
	4	0,0967	0,140205378
	5	0,1002	0,145232265
	6	0,0435	0,06310984
	7	0,0435	0,06310984
	8	0,2319	0,336303776
	9	0,1566	0,227056064
	10	0,1629	0,236164188
	11	0,1154	0,167380435
	12	0,1154	0,167380435
FÁBRICA	13	0,0428	0,062064645
	14	0,0428	0,062064645
	15	0,0896	0,129902746
	16	0,0896	0,129902746
	17	0,0896	0,129902746
	18	0,1195	0,173203661
	19	0,0896	0,129902746
	20	0,0896	0,129902746
	21	0,0896	0,129902746
	22	0,1195	0,173203661
PASILLOS	23	0,2433	0,352778032
	24	0,1064	0,154290618

	25	0,0324	0,046983982
	26	0,0733	0,106261442
	27	0,1329	0,192713959
	27	0,1329	0,192713959
	28	0,3169	0,459437643
	29	0,2772	0,401902174
	30	0,1109	0,16076087
	30	0,1109	0,16076087
	31	0,0299	0,043300915
	31	0,0299	0,043300915
	31	0,0299	0,043300915
	31	0,0299	0,043300915
	31	0,0299	0,043300915
	31	0,0299	0,043300915
APARCAMIENTO	32	0,5211	0,755526316
CASETA	33	0,0296	0,042927632

Tabla 33. Dimensionamiento del circuito 1. [Elaboración propia]

Tramo	Intensidad (A)	Factor de reducción para varios circuitos	Sección (mm ²)	Longitud (m)	Resistencia (Ω)	Caída de tensión (V)
CG-OO	6,476497998	0,67	1,5	28,625	0,3206	2,076365258
OO-A	6,476497998	1	1,5	5,256122336	0,05886857	0,381262177
A-B	0,332421625	1	1,5	4,893196173	0,054803797	0,018217967
B-S4I	0,140205378	1	1,5	3,003490563	0,033639094	0,004716382
B-S5I	0,145232265	1	1,5	8,124071954	0,090989606	0,013214627
B-S25I	0,046983982	1	1,5	0,369371699	0,004136963	0,000194371
A-C	6,144076373	1	1,5	2,252613305	0,025229269	0,155010556
C-D	0,500001144	1	1,5	3,187880915	0,035704266	0,017852174
D-S2I	0,08953833	1	1,5	4,505245078	0,050458745	0,004517992
D-E	0,410462815	1	1,5	1,970708824	0,022071939	0,00905971
E-S26I	0,106261442	1	1,5	0,738743397	0,008273926	0,000879199
E-F	0,304201373	1	1,5	1,645994164	0,018435135	0,005607993
F-S1I	0,112084668	1	1,5	4,505245078	0,050458745	0,005655652
F-S3I	0,192116705	1	1,5	7,245927677	0,08115439	0,015591114
C-G	5,644075229	1	1,5	0,800927123	0,008970384	0,050629521
G-H	0,255823799	1	1,5	5,859768035	0,065629402	0,016789563
H-S27I	0,192713959	1	1,5	0,923429247	0,010342408	0,001993126
H-S6I	0,06310984	1	1,5	5,884792967	0,065909681	0,004159549
G-I	5,38825143	1	1,5	3,003490563	0,033639094	0,181255898
I-J	0,255823799	1	1,5	5,859768035	0,065629402	0,016789563
J-S27I	0,192713959	1	1,5	0,923429247	0,010342408	0,001993126
J-S7I	0,06310984	1	1,5	5,884848373	0,065910302	0,004159589
I-K	5,132427632	1	1,5	0,546780926	0,006123946	0,031430712

K-S23I	0,352778032	1	1,5	0,738743397	0,008273926	0,002918859
K-L	4,7796496	1	1,5	3,906512023	0,043752935	0,209123697
L-M	0,570925057	1	1,5	3,954604218	0,044291567	0,025287166
M-S10I	0,236164188	1	1,5	0	0	0
M-S11I	0,167380435	0,9	1,5	8,434547335	0,09446693	0,015811916
M-M2	0,167380435	0,9	1,5	2,579895098	0,028894825	0,004836428
M2-S12I	0,167380435	1	1,5	5,858438296	0,065614509	0,010982585
L-N	4,208724542	1	1,5	0,851420234	0,009535907	0,040134004
N-S8I	0,336303776	1	1,5	7,362279762	0,082457533	0,02773078
N-Ñ	3,872420767	1	1,5	5,058434603	0,056654468	0,219389937
Ñ-S9I	0,227056064	1	1,5	7,365604107	0,082494766	0,018730937
Ñ-O	3,645364703	1	1,5	0,649669412	0,007276297	0,026524758
O-S24I	0,154290618	1	1,5	7,358936948	0,082420094	0,012716647
O-P	3,491074085	1	1,5	3,704317955	0,041488361	0,144838942
P-S13I	0,062064645	1	1,5	11,71953607	0,131258804	0,008146531
P-Q	0,521502288	1	1,5	1,48081114	0,016585085	0,00864916
Q-S28I	0,459437643	1	1,5	1,108115096	0,012410889	0,00570203
Q-S14I	0,062064645	1	1,5	10,23281498	0,114607528	0,007113076
P-R	2,907507151	1	1,5	3,841964319	0,04303	0,125110034
R-S15I	0,129902746	1	1,5	6,858105862	0,076810786	0,009977932
R-S19I	0,129902746	1	1,5	6,858105862	0,076810786	0,009977932
R-S	2,647701659	1	1,5	2,002327042	0,022426063	0,059377524
S-31I	0,043300915	1	1,5	6,858105862	0,076810786	0,003325977
S-31I	0,043300915	1	1,5	6,858105862	0,076810786	0,003325977
S-T	2,561099828	1	1,5	2,002327042	0,022426063	0,057435386
T-S16I	0,129902746	1	1,5	6,858105862	0,076810786	0,009977932

T-S20I	0,129902746	1	1,5	6,858105862	0,076810786	0,009977932
T-U	2,301294336	1	1,5	2,077512651	0,023268142	0,053546843
U-V	0,204061785	1	1,5	6,858105862	0,076810786	0,015674146
V-S31I	0,043300915	1	1,5	0,277028774	0,003102722	0,000134351
V-S30I	0,16076087	1	1,5	5,358936948	0,060020094	0,009648882
U-W	0,204061785	1	1,5	6,858105862	0,076810786	0,015674146
W-S31I	0,043300915	1	1,5	0,277028774	0,003102722	0,000134351
W-S30I	0,16076087	1	1,5	5,358936948	0,060020094	0,009648882
U-X	1,893170767	1	1,5	0,509086544	0,005701769	0,010794423

Tabla 34. Dimensionamiento del circuito 2. [Elaboración propia]

Tramo	Intensidad (A)	Factor de reducción para varios circuitos	Sección (mm ²)	Longitud (m)	Resistencia (Ω)	Caída de tensión (V)
CG-OO	67,44141239	0,67	35	28,625	0,01374	0,926645006
OO-AB	67,44141239	0,8	25	0,1662	0,000111686	0,007532289
AB-AC	1,35	0,9	1,5	11,3842	0,12750304	0,172129104
AC-S23T1	0,225	1	1,5	1,2784	0,01431808	0,003221568
AC-AD	1,125	0,9	1,5	7,0124	0,07853888	0,017671248
AD-S23T2	0,225	1	1,5	1,7216	0,01928192	0,004338432
AD-AE	0,9	0,9	1,5	5,4539	0,06108368	0,027487656
AE-S28T1	0,45	1	1,5	2,2458	0,02515296	0,011318832
AE-AF	0,45	0,9	1,5	20,1915	0,2261448	0,10176516
AF-S29T1	0,45	1	1,5	2,2202	0,02486624	0,011189808
AB-AG	66,09141239	0,8	25	0,9255	0,000621936	0,041104629
AG-C1	33,0457062	1	6	0,1662	0,00046536	0,01537815
AG-E"	33,0457062	0,8	10	30,0823	0,050538264	1,670072624
E"-AH	33,0457062	0,9	6	5,6704	0,01587712	0,524670643
AH-C2	33,0457062	1	6	11,3404	0,03175312	1,049304274

Tabla 35. Dimensionamiento del circuito 3. [Elaboración propia]

Tramo	Intensidad (A)	Factor de reducción para varios circuitos	Sección (mm2)	Longitud (m)	Resistencia (Ω)	Caída de tensión (V)
CG-OO	61,72878173	0,67	25	28,625	0,019236	1,187414845
OO-E"	61,72878173	0,8	25	31,17329073	0,020948451	1,293122382
E"-AC	61,72878173	0,9	16	7,646400473	0,00802872	0,495603135
AC-F"	61,72878173	1	16	1,976	0,0020748	0,128074876
F"-S13	0,45	1	1,5	1,311158719	0,014684978	0,00660824
S13-S13T1	0,225	1	1,5	2,190041739	0,024528467	0,005518905
S13-S13T2	0,225	1	1,5	2,190041739	0,024528467	0,005518905
F"-G"	61,27878173	1	16	3,841964319	0,004034063	0,247202438
G"-S19	10,46447363	1	1,5	6,172588926	0,069132996	0,723440413
S19-S19T1	7,216878365	1	1,5	1,501754516	0,016819651	0,121385372
S19-S19T2	3,247595264	1	1,5	1,501754516	0,016819651	0,054623418
G"-H"	50,8143081	1	10	4,004654083	0,006727819	0,34186946
H"-S20	0,45	1	1,5	6,172588926	0,069132996	0,031109848
S20-S20T1	0,225	1	1,5	1,501754516	0,016819651	0,003784421
S20-S20T2	0,225	1	1,5	1,501754516	0,016819651	0,003784421
H"-I"	50,3643081	1	10	4,155025302	0,006980443	0,351565157
I"-S21	0,669726312	1	1,5	6,172588926	0,069132996	0,046300186
S21-S21T1	0,461880215	1	1,5	1,501754516	0,016819651	0,007768664
S21-S21T2	0,207846097	1	1,5	1,501754516	0,016819651	0,003495899
I"-J"	49,69458178	1	10	4,516824881	0,007588266	0,377095695
J"-S32T1	49,24458178	1	10	2,002327042	0,003363909	0,165654313
J"-S22	0,45	1	1,5	6,172588926	0,069132996	0,031109848
S22-S22T1	0,225	1	1,5	2,002327042	0,022426063	0,005045864

S22-S22T2	0,225	1	1,5	2,002327042	0,022426063	0,005045864
-----------	-------	---	-----	-------------	-------------	-------------

Tabla 36. Dimensionamiento del circuito 4. [Elaboración propia]

Tramo	Intensidad (A)	Factor de reducción para varios circuitos	Sección (mm ²)	Longitud (m)	Resistencia (Ω)	Caída de tensión (V)
CG-OO	71,84830918	0,67	35	28,625	0,01374	0,987195768
OO-A"	71,84830918	0,8	25	4,85564954	0,003262996	0,234440781
A"-S4	35,02415459	1	6	2,04945887	0,005738485	0,20098558
S4-S4T1	24,15458937	1	4	3,241273594	0,013613349	0,328824857
S4-S4T2	10,86956522	1	1,5	3,241273594	0,036302264	0,394589829
A"-B"	36,82415459	0,8	10	5,856813061	0,009839446	0,362329278
B"-S5	35,0242	1	6	2,800336128	0,007840941	0,274622335
S5-S5T1	24,15458937	1	4	2,465371403	0,01035456	0,250110142
S5-S5T2	10,8696	1	1,5	2,465371403	0,02761216	0,300132171
B"-C"	1,8000	0,8	1,5	10,4062904	0,116550452	0,209790814
C"-S6	0,45	1	1,5	1,271008015	0,01423529	0,00640588
S6-S6T1	0,225	1	1,5	2,227551435	0,024948576	0,00561343
S6-S6T2	0,225	1	1,5	2,227551435	0,024948576	0,00561343
C"-D"	1,3500	0,8	1,5	4,877479408	0,054627769	0,073747489
D"-(S11+S10)	0,9	1	1,5	3,199239094	0,035831478	0,03224833
S11-S11T1	0,225	1	1,5	2,502918036	0,028032682	0,006307353
S11-S11T2	0,225	1	1,5	2,502918036	0,028032682	0,006307353
S11-S10	0,45	1	1,5	5,87823662	0,06583625	0,029626313
S10-S10T1	0,225	1	1,5	2,481254386	0,027790049	0,006252761
S10-S10T2	0,225	1	1,5	7,680585824	0,086022561	0,019355076
D"-E"	0,4500	0,8	1,5	5,177076792	0,05798326	0,026092467
E"-S12	0,4500	1	1,5	3,199202157	0,035831064	0,016123979
S12-S12T1	0,225	1	1,5	2,502918036	0,028032682	0,006307353

S12-S12T2	0,225	1	1,5	2,502918036	0,028032682	0,006307353
-----------	-------	---	-----	-------------	-------------	-------------

Tabla 37. Dimensionamiento del circuito 5. [Elaboración propia]

Tramo	Intensidad (A)	Factor de reducción para varios circuitos	Sección (mm ²)	Longitud (m)	Resistencia (Ω)	Caída de tensión (V)
CG-OO	82,94147325	0,8	35	28,625	0,01374	1,139615842
OO-F'	82,94147325	0,8	35	34,4843017	0,016552465	1,372885818
F'-G'	82,94147325	0,9	25	4,355077014	0,002926612	0,24273749
G'-S14	0,45	1	1,5	1,317068666	0,014751169	0,006638026
S14-S14T1	0,225	1	1,5	2,190041739	0,024528467	0,005518905
S14-S14T2	0,225	1	1,5	2,190041739	0,024528467	0,005518905
G'-H'	82,49147325	0,9	25	3,804436154	0,002556581	0,210896141
H'-S15	41,85789452	1	10	6,172588926	0,010369949	0,434064248
S15-S15T1	28,86751346	1	4	1,501754516	0,006307369	0,182078059
S15-S15T2	12,99038106	1	1,5	1,501754516	0,016819651	0,21849367
H'-I'	40,63357874	0,9	10	4,004654083	0,006727819	0,273375357
I'-S16	40,18357874	1	6	6,172588926	0,017283249	0,694502797
S16-S16T1	27,71281292	1	4	1,501754516	0,006307369	0,174794936
S16-S16T2	12,47076581	1	1,5	1,501754516	0,016819651	0,209753923
I'-J'	0,45	0,9	1,5	4,155025302	0,046536283	0,020941328
J'-S18	0,45	1	1,5	10,677834	0,119591741	0,053816283
S18-S18T1	0,225	1	1,5	2,002327042	0,022426063	0,005045864
S18-S18T2	0,225	1	1,5	2,002327042	0,022426063	0,005045864

Tabla 38. Dimensionamiento del circuito 6. [Elaboración propia]

Tramo	Intensidad (A)	Factor de reducción para varios circuitos	Sección (mm ²)	Longitud (m)	Resistencia (Ω)	Caída de tensión (V)
CG-OO	69,76315753	0,67	35	28,625	0,01374	0,958545784
OO-F'	69,76315753	0,8	25	34,46583312	0,02316104	1,615787272
F'-J'	69,76315753	0,9	25	16,31917408	0,010966485	0,76505662
J'-S17	69,76315753	1	16	6,154120341	0,006461826	0,45079741
S17-S17T1	48,11252243	1	10	1,501754516	0,002522948	0,121385372
S17-S17T2	21,65063509	1	2,5	1,501754516	0,01009179	0,21849367

Tabla 39. Dimensionamiento del circuito 7. [Elaboración propia]

Tramo	Intensidad (A)	Factor de reducción para varios circuitos	Sección (mm ²)	Longitud (m)	Resistencia (Ω)	Caída de tensión (V)
CG-OO	45,3194	0,67	16	28,625	0,03005625	1,362130737
OO-A'	45,31938406	0,8	10	3,190614265	0,005360232	0,242922411
A'-S2	3,502415459	1	1,5	2,781867543	0,031156916	0,109124466
S2-S2T1	24,2150	1	4	1,53928268	0,006464987	0,015615911
S2-S2T2	-20,7126	1	1,5	1,53928268	0,017239966	0,018739093
A'-B'	41,8170	0,8	10	3,654249621	0,006139139	0,256720198
B'-S1	4,6845	1	1,5	2,781867543	0,031156916	0,145953973
S1-S1T1	3,2307	1	1,5	1,927252244	0,021585225	0,069734876
S1-S1T2	1,4538	1	1,5	1,927252244	0,021585225	0,031380694
B'-C'	37,1325	0,8	10	4,206257157	0,007066512	0,262397172
C'-S3	35,1117	1	6	4,283622059	0,011994142	0,421134887
S3-S3T1	24,2150	1	4	2,165016806	0,009093071	0,220188485
S3-S3T2	10,8967	1	1,5	2,165016806	0,024248188	0,264226182
C'-D'	2,0208	0,8	1,5	13,06644997	0,14634424	0,29572848
D'-S7	0,4500	1	1,5	1,245872271	0,013953769	0,006279196
S7-S7T1	0,2250	1	1,5	2,227551435	0,024948576	0,00561343
S7-S7T2	0,2250	1	1,5	2,227551435	0,024948576	0,00561343
D'-E'	1,5708	0,8	1,5	5,306172201	0,059429129	0,093349668
E'-S8	0,4500	1	1,5	5,628153511	0,063035319	0,028365894
S8-S8T1	0,2250	1	1,5	2,928415765	0,032798257	0,007379608
S8-S8T2	0,2250	1	1,5	2,928415765	0,032798257	0,007379608
E'-F'	1,1208	0,8	1,5	5,055885938	0,056625923	0,063464802
F'-S9	1,1208	1	1,5	5,628153511	0,063035319	0,070648281

S9-S9T1	0,7729	1	1,5	1,977302109	0,022145784	0,017117514
S9-S9T2	0,3478	1	1,5	1,977302109	0,022145784	0,007702881

Tabla 40. Dimensionamiento del circuito 8. [Elaboración propia]

Tramo	Intensidad (A)	Factor de reducción para varios circuitos	Sección (mm2)	Longitud (m)	Resistencia (Ω)	Caída de tensión (V)
CG-S32	23,25438584	1	2,5	1,625	0,01092	0,253937893
S32-S32T1	16,03750748	1	1,5	1,2	0,01344	0,2155441
S32-S32T2	7,216878365	1	1,5	1,8	0,02016	0,145492268

Tabla 41. Dimensionamiento del circuito 9. [Elaboración propia]

Tramo	Intensidad (A)	Factor de reducción para varios circuitos	Sección (mm2)	Longitud (m)	Resistencia (Ω)	Caída de tensión (V)
CG-S32I	0,042927632	1	1,5	2,125	0,0238	0,001021678

Tabla 42. Caídas de tensión de cada punto. [Elaboración propia]

ILUMINACIÓN		CARGAS	
Punto	Caída de tensión (V)	Punto	Caída de tensión (V)
S1	2,315330923	S1T1	1,857379936
S2	2,29952556	S1T2	1,819025755
S3	2,325266386	S2T1	1,509711267
S4	2,145079188	S2T2	1,512834449
S5	2,153577432	S3T1	2,545411631
S6	2,193917843	S3T2	2,589449328
S7	2,529989965	S4T1	1,59194374
S8	2,817460005	S4T2	1,657708711
S9	3,027850099	S5T1	1,949195059
S10	2,774882387	S5T2	1,999217087
S11	2,790694303	S6T1	1,646272705
S12	2,7907014	S6T2	1,646272705
P	3,180482862	S7T1	2,211709366
S13	3,188629393	S7T2	2,211709366
S14	3,196245097	S8T1	2,328911909
S15	5,05645349	S8T1	2,328911909
S16	5,173266399	S9T1	2,444397004
S17	5,263959003	S9T2	2,434982372
S18	5,326995381	S10T1	1,776128288
S19	5,05645349	S10T2	1,789230603
S20	5,173266399	S11T1	1,746556568
S21	5,263959003	S11T2	1,746556568
S22	5,326995381	S12T1	1,756524683

S23	2,543390384	S12T2	1,756524683
S24	3,048360567	S13T1	2,92448933
S25	2,140557177	S13T2	2,92448933
S26	2,304946478	S14T1	2,583266011
S27(1)	2,346567604	S14T2	2,583266011
S27(2)	2,527823502	S15T1	3,398147528
S28	4,935716713	S15T2	3,434563139
S29	5,231786369	S16T1	3,924678312
S30(1)	5,242158339	S16T2	3,959637299
S30(2)	5,242158339	S17T1	3,756698249
S31(1)	5,109179059	S17T2	3,853806547
S31(2)	5,232643807	S18T1	3,135184054
S31(3)	5,284923917	S18T2	3,135184054
S31(4)	6,850061721	S19T1	4,004390408
S31(5)	6,973526469	S19T2	3,937628454
S31(6)	7,025806579	S20T1	3,536328353
S32	5,37302366	S20T2	3,536328353
S33	0,001021678	S21T1	3,907068091
		S21T2	3,902795325
		S22T1	4,266250648
		S22T2	4,266250648
		S32T1	4,395749249
		C1	1,07335407
		C2	5,736482614
		S33T1	0,469481994
		233T2	0,399430161

		S23T1	1,348020316
		S23T2	1,366808428
		S28T1	1,162784135
		S29T1	1,264420271

9.3.2 Instalación fotovoltaica

Tabla 43. Resultados de corriente continua. Inversor 1. [Elaboración propia]

Inversor 1	Nº módulos/cadena	Longitud cadena (m)	Imp (A)	Vmódulo (V)	Vmáx módulo (V)	Vtotal (V)	Vmax total (V)	Resistividad (Ω)	Δu (V)	Δu (%)	ΔP (W)	P/m (W/m)	Ptotal (W)	Sección cable (mm2)	Δu límite (%)	Δu max (%)
Cadena1	11	50,9852	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,303	4,443	0,947%	65,045	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 1	11		14,64													
Cadena2	11	56,7912	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,338	4,949	1,055%	72,453	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 2	11		14,64													
Cadena3	11	57,7912	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,344	5,036	1,073%	73,728	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 3	11		14,64													
Cadena4	11	62,7972	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,374	5,472	1,166%	80,115	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 4	11		14,64													
Cadena5	11	63,7972	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,380	5,559	1,185%	81,391	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 5	11		14,64													
Cadena6	11	68,8032	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,410	5,996	1,278%	87,777	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 6	11		14,64													
Cadena7	11	69,8032	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,415	6,083	1,297%	89,053	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 7	11		14,64													
TOTAL INVERSOR 1	77		102,48					0,371	6,083	1,297%	549,562		48078,492		2%	1,297%

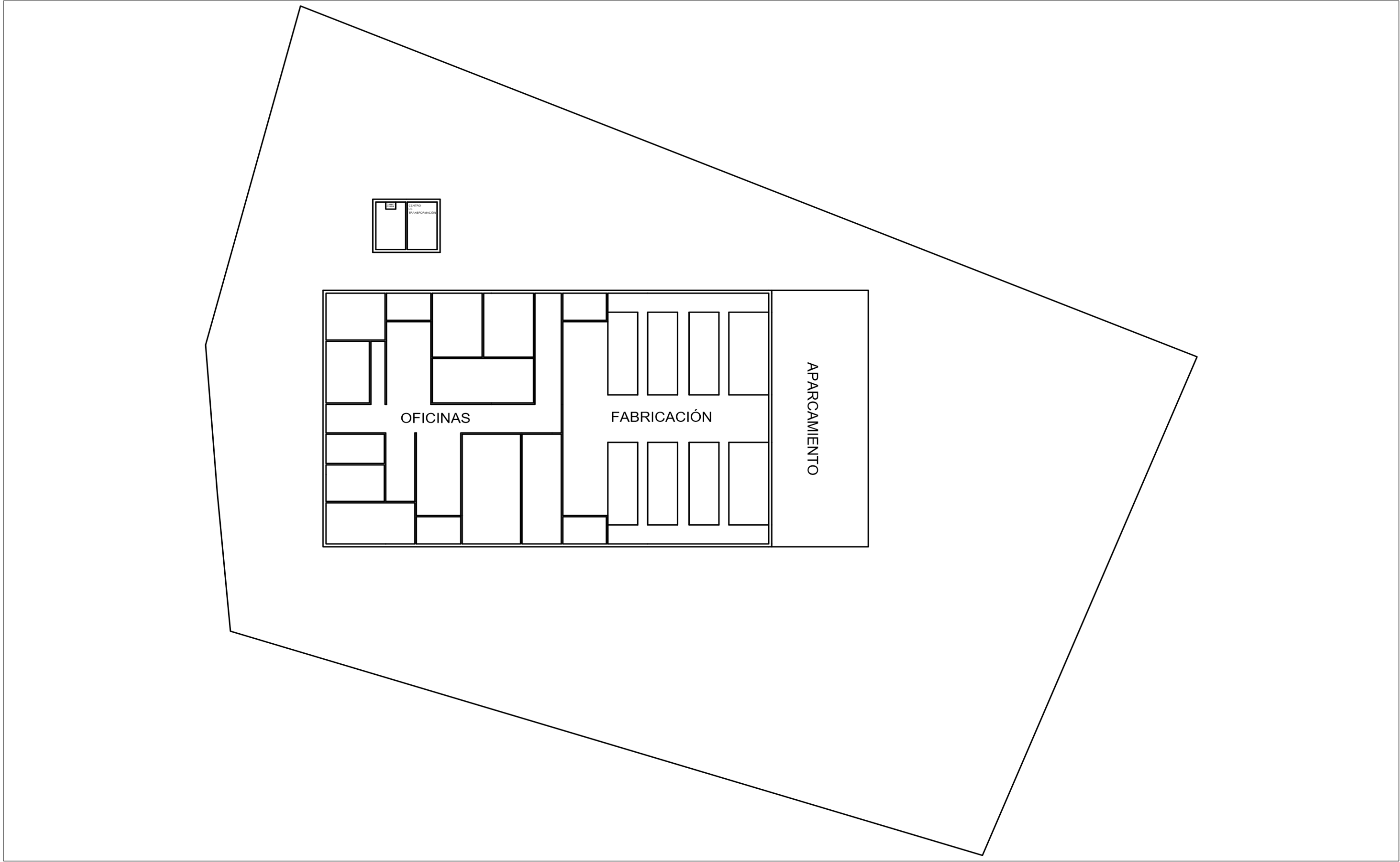
Tabla 44. Resultados de corriente continua. Inversor 2. [Elaboración propia]

Inversor 1	Nº módulos/cadena	Longitud cadena (m)	Impp (A)	Vmódulo (V)	Vmáx módulo (V)	Vtotal (V)	Vmax total (V)	Resistividad (Ω)	Δu (V)	Δu (%)	ΔP (W)	P/m (W/m)	Ptotal (W)	Sección cable (mm2)	Δu límite (%)	Δu max (%)
Cadena1	11	75,4083	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,449	6,571	1,401%	96,204	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 1	11		14,64													
Cadena2	11	76,4083	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,455	6,658	1,419%	97,480	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 2	11		14,64													
Cadena3	11	81,4143	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,485	7,095	1,512%	103,866	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 3	11		14,64													
Cadena4	11	82,4143	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,491	7,182	1,531%	105,142	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 4	11		14,64													
Cadena5	11	87,4203	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,520	7,618	1,624%	111,528	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 5	11		14,64													
Cadena6	11	88,4203	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,526	7,705	1,642%	112,804	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 6	11		14,64													
Cadena7	11	93,4263	14,64	42,65	51,28	469,15	564,08	0,556	8,141	1,735%	119,191	1,276	6868,356	6		
Entrada cadena 7	11		14,64													
TOTAL INVERSOR 2	77		102,48					0,606	8,141	1,735%	746,214		48078,492		2%	1,735%

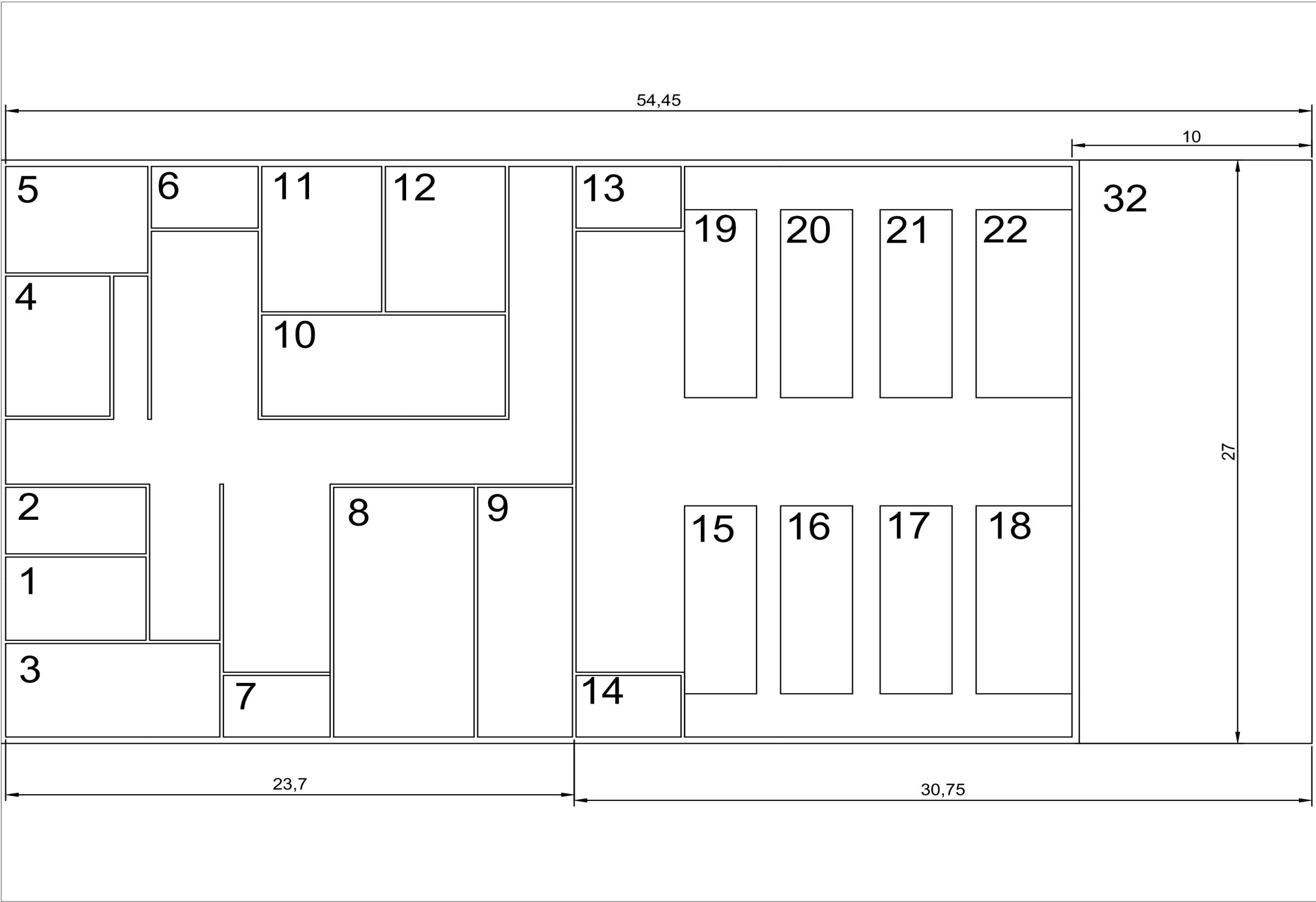
Tabla 45. Resultados de corriente alterna. [Elaboración propia]

Corriente alterna		P (W)	V (V)	I (A)	cos(φ)	PIA	L(m)	Sf-n (mm2)	Δu (V)	Δu (%)	Sp (mm2)	ΔP (W)
L1	Inversor 1	100000	400	144,338	1	4x160	8	70	0,510	0,128%	70	127,551
L2	Inversor 2	100000	400	144,338	1	4x160	8	70	0,510	0,128%	70	127,551

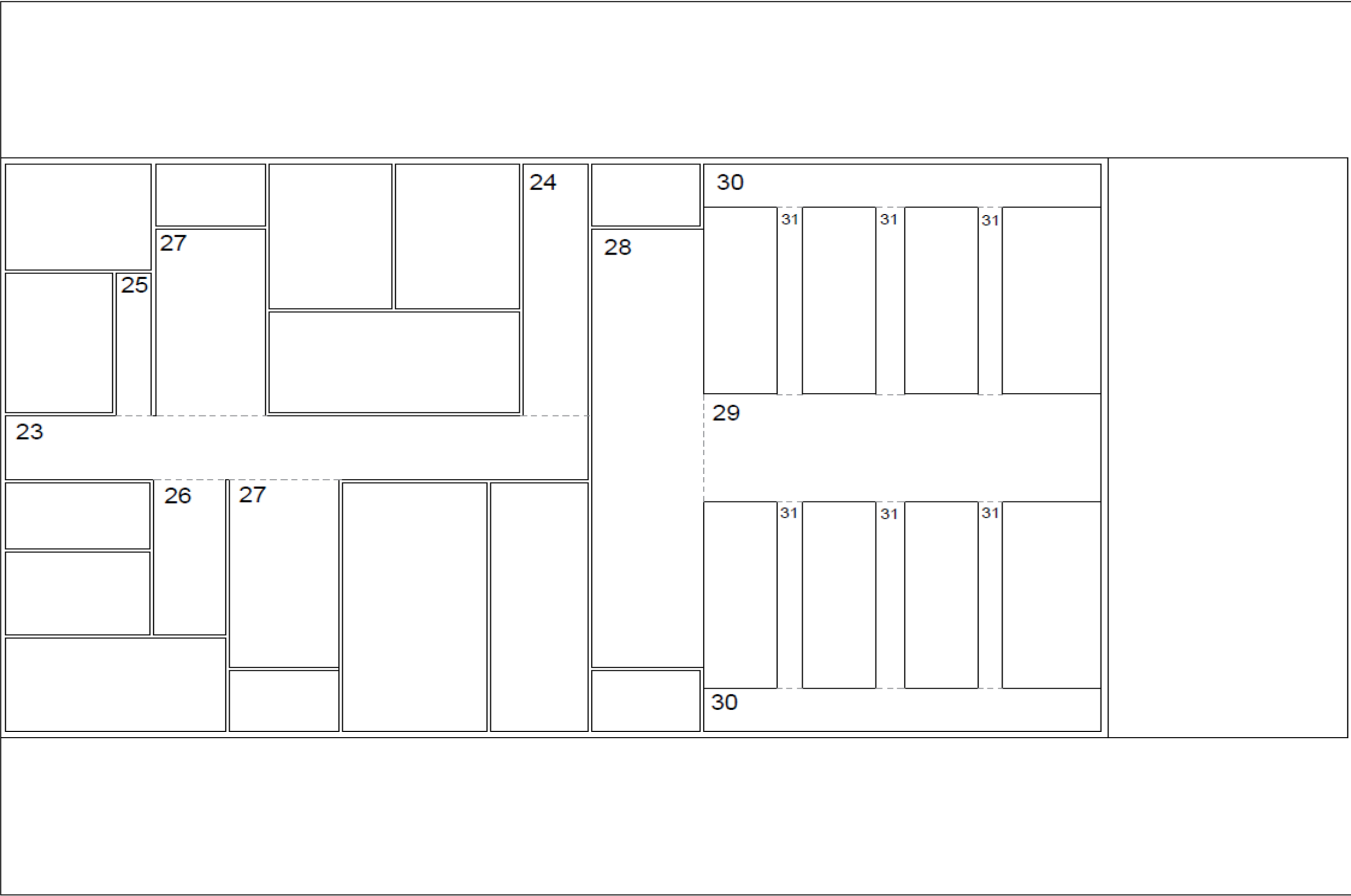
9.4 ANEXO 4: PLANOS



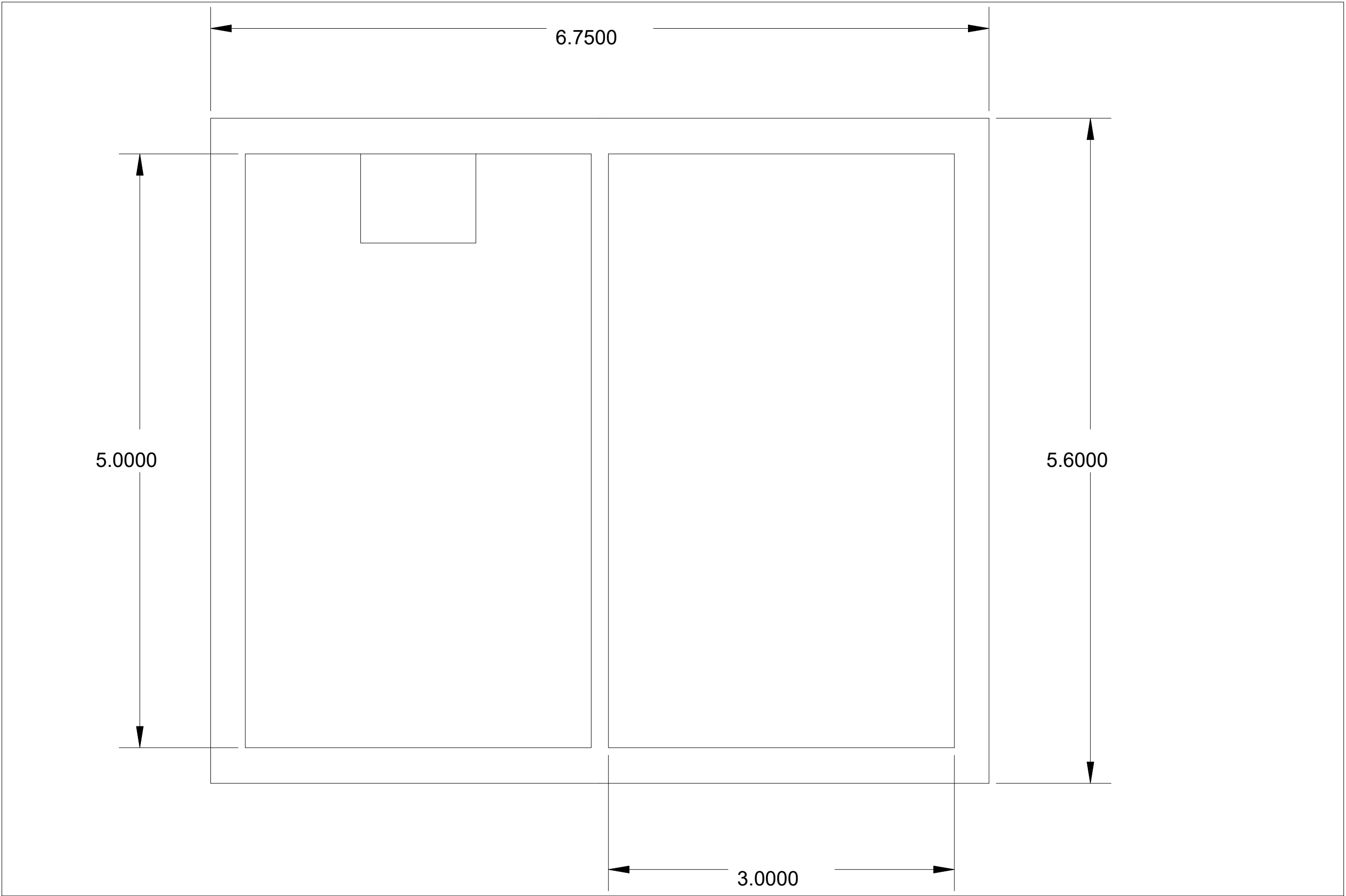
Plano 1. Disposición de las instalaciones sobre la parcela. [Elaboración propia]



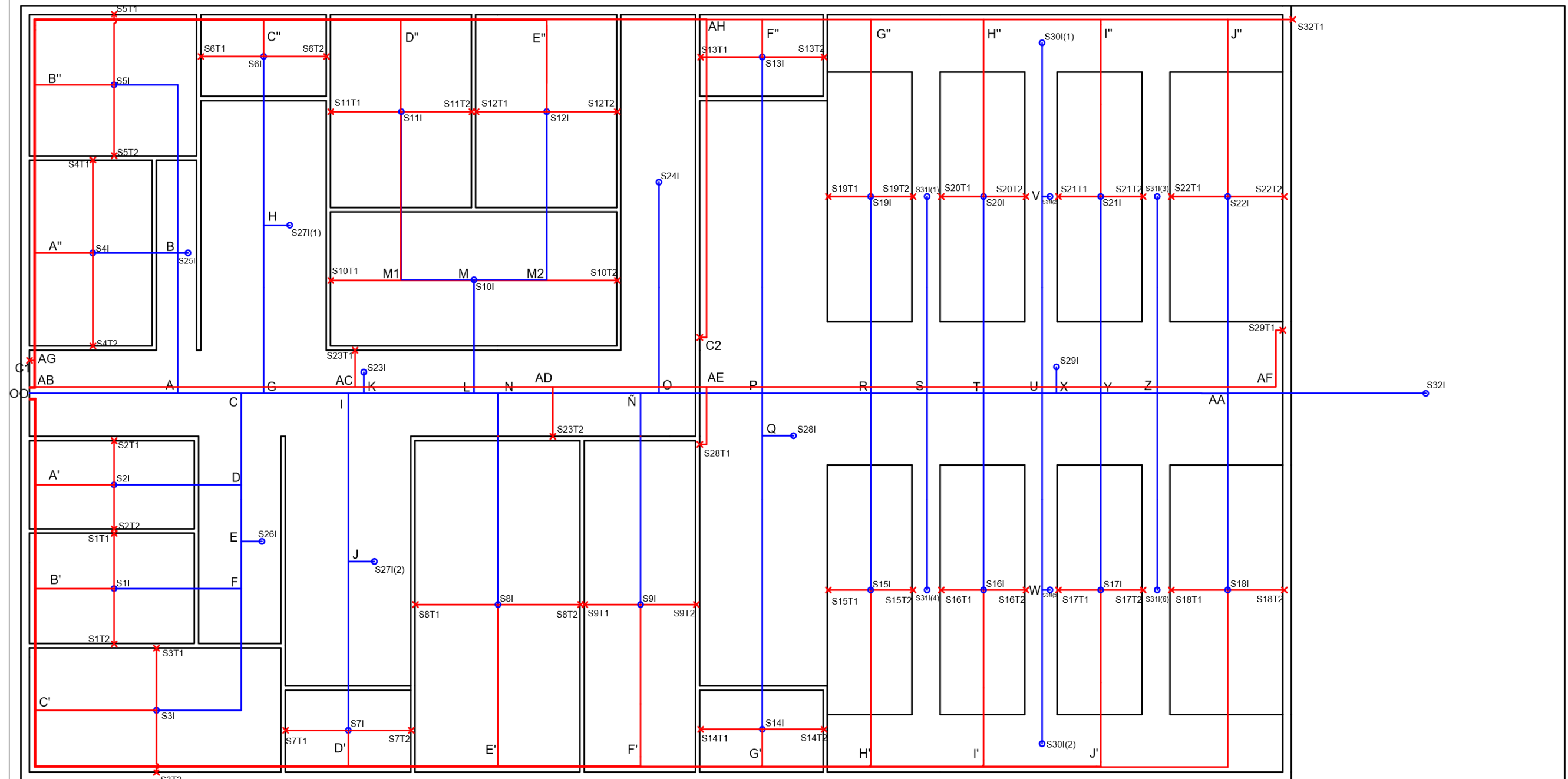
Plano 2. Distribución de las salas de la nave. [Elaboración propia]



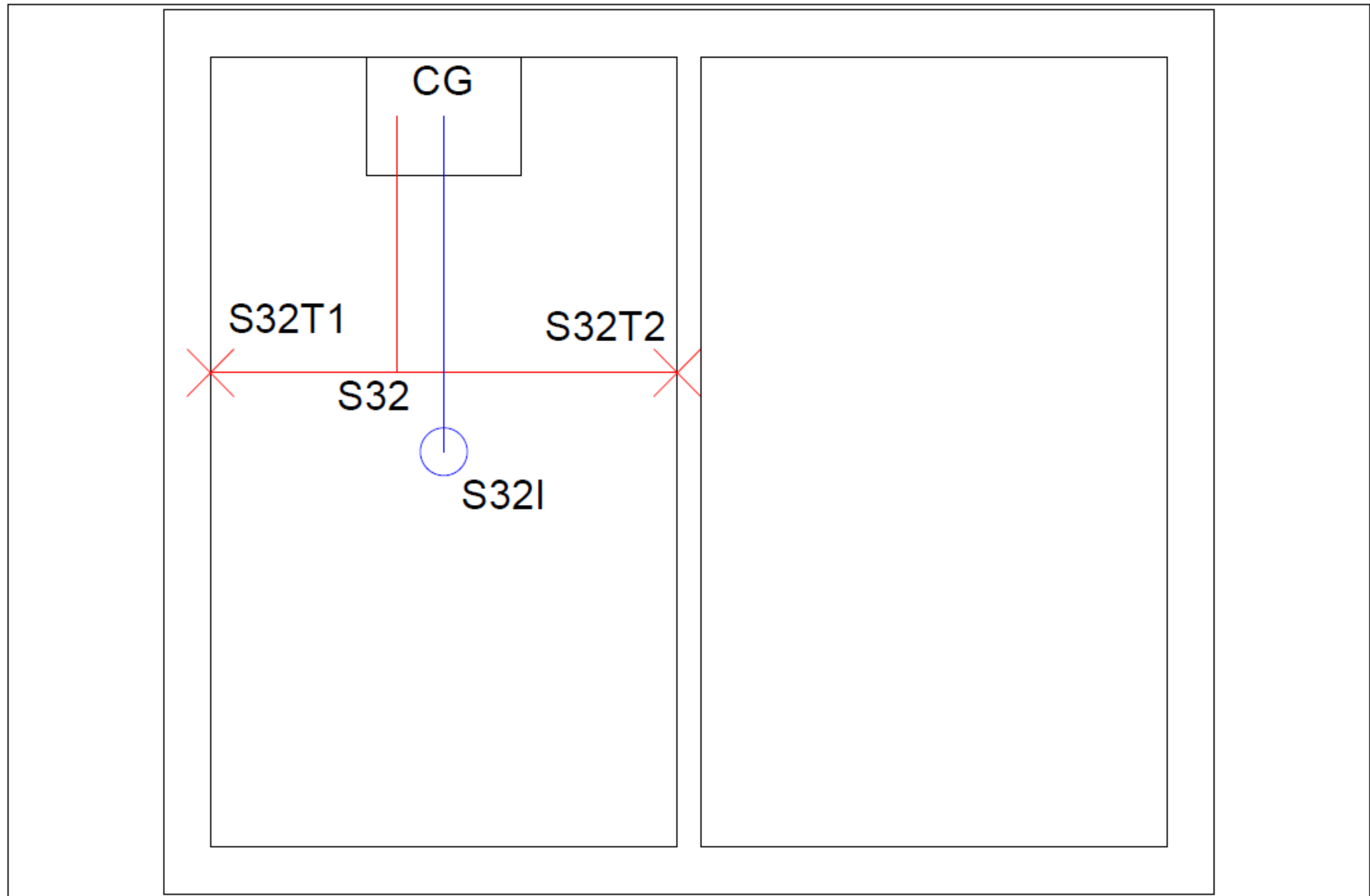
Plano 3. Distribución de los pasillos de la nave. [Elaboración propia]



Plano 4. Distribución de los espacios de la caseta. [Elaboración propia]



Plano 5. Esquema unifilar de la instalación eléctrica de la nave. [Elaboración propia]



Plano 6. Esquema unifilar de la instalación eléctrica de la caseta. [Elaboración propia]



Plano 7. Disposición de los paneles solares y circuitos eléctricos sobre la cubierta de la nave. [Elaboración propia]