



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Proyecto de una instalación fotovoltaica para una potencia de 265 kW para autoconsumo sin excedentes con vertido a red interior de baja tensión en una fábrica de mecanizados en el interior de Valencia

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Pinach Forcadell, Alvaro

Tutor/a: Palomo Anaya, M^a Josefa

Cotutor/a: Roldán Blay, Carlos

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Agradecimientos

En este momento de logro y reflexión, deseo expresar mi sincero agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en mi trayecto hacia la finalización de este Trabajo de Fin de Grado.

En primer lugar, quiero extender mi gratitud hacia mi tutora, María José Palomo. Su dedicación, orientación y profundo conocimiento en el campo fueron fundamentales en cada paso de este proyecto. María José no solo me brindó su experiencia académica, sino que también me motivó y guió con paciencia a lo largo de este desafiante proceso.

A mis padres, quiero dedicarles un agradecimiento especial. Su apoyo inquebrantable, amor incondicional y sacrificio personal han sido el faro que me ha guiado durante mi educación. Sin su constante aliento y respaldo, este logro no habría sido posible. Son la razón detrás de mi éxito, y les estoy profundamente agradecido.

También quiero reconocer a todos mis profesores y compañeros que han sido parte de mi viaje académico. Cada interacción en el aula, cada consejo y cada desafío han contribuido significativamente a mi crecimiento como estudiante y como persona.

Por último, quiero expresar mi gratitud a todas las personas que, de una forma u otra, han formado parte de mi experiencia universitaria. Sus palabras de aliento, apoyo y amistad han enriquecido mi vida y mi aprendizaje de maneras innumerables.

En resumen, este logro representa no solo mi esfuerzo, sino el resultado del apoyo y la contribución de muchas personas valiosas en mi vida. A todos ustedes, les doy las gracias de todo corazón por su influencia positiva y su apoyo constante en mi camino hacia la culminación de este grado.

Resumen

El objetivo de este TFG es el diseño de una instalación fotovoltaica de 265 kW de potencia para autoconsumo sin excedentes con vertido a red interior de baja tensión. El emplazamiento de esta instalación es en una fábrica de mecanizados situada en Alborache, un pequeño pueblo del interior de Valencia.

Primero se debe estudiar el consumo eléctrico de la empresa, analizando sus facturas durante un año. El objetivo es poder generar la demanda de la fábrica durante el horario diurno con la energía obtenida por las placas fotovoltaicas.

Segundo se debe analizar el emplazamiento donde posicionar las placas, haciendo una comparativa con todo el terreno que posee la empresa, como el techo de la fábrica o los terrenos áridos de alrededor.

Se seleccionará la placa en base a su potencia, rendimiento y garantía, para después realizar el cálculo de la potencia total. A continuación, se elaborará la parte eléctrica, la cual se enfocará en el vertido a red interior para su uso en la fábrica. Se deberá calcular conexionado, transformación y pérdidas de la red.

Finalmente, se elaborará un presupuesto de la instalación, estudiando la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

Resum

L'objectiu d'aquest *TFG és el disseny d'una instal·lació fotovoltaica de 265 kW de potència per a autoconsum sense excedents amb abocament a xarxa interior de baixa tensió. L'emplaçament d'aquesta instal·lació és en una fàbrica de mecanitzats situada a Alborache, un xicotet poble de l'interior de València.

Primer s'ha d'estudiar el consum elèctric de l'empresa, analitzant les seues factures durant un any. L'objectiu és poder generar la demanda de la fàbrica durant l'horari diürn amb l'energia obtinguda per les plaques fotovoltaiques.

Segon s'ha d'analitzar l'emplaçament on posicionar les plaques, fent una comparativa amb tot el terreny que posseeix l'empresa, com el sostre de la fabrica o els terrenys àrids de voltant.

Se seleccionarà la placa sobre la base de la seua potència, rendiment i garantia, per a després realitzar el càlcul de la potència total. A continuació, s'elaborarà la part elèctrica, la qual s'enfocarà en l'abocament a xarxa interior per al seu ús a la fàbrica. S'haurà de calcular connexió, transformació i perdudes de la xarxa.

Finalment, s'elaborarà un pressupost de la instal·lació, estudiant la viabilitat i rendibilitat del projecte.

Abstract

The objective of this Bachelor's thesis is the design of a 265 kW photovoltaic installation for self-consumption without excess energy, with low-voltage grid connection. The location of this installation is in a machining factory located in Alborache, a small town in the interior of Valencia.

First, the electricity consumption of the company must be studied by analyzing its invoices over the course of a year. The goal is to meet the factory's demand during daylight hours with the energy generated by the photovoltaic panels.

Second, the location for positioning the panels must be analyzed, comparing various areas of the company's land, such as the factory roof or the surrounding arid areas.

The selection of the panels will be based on their power, efficiency, and warranty, and then the calculation of the total power will be carried out. Next, the electrical aspect will be developed, focusing on the grid connection for internal use in the factory. Connection, transformation, and network losses must be calculated.

Finally, a budget for the installation will be prepared, studying the viability and profitability of the project.

Índice General

I MEMORIA

1	Objetivo del TFG	- 1 -
2	Introducción.....	- 2 -
2.1	Energía renovable y no renovable.....	- 2 -
2.1.1	Energías No Renovables	- 2 -
2.1.2	Energías Renovables.....	- 3 -
2.2	Valores Actuales internacionales	- 3 -
2.3	Valores Actuales en España	- 4 -
2.4	Valores Actuales internacionales energía fotovoltaica	- 5 -
2.5	Valores Actuales nacionales energía fotovoltaica.....	- 7 -
3	Desarrollo sostenible	- 9 -
3.1	Objetivos de la ODS	- 9 -
3.2	Acuerdo de París.....	- 11 -
3.3	Relación TFG con el Acuerdo De París y con los ODS.	- 12 -
4	Energía fotovoltaica.....	- 13 -
5	Estudio de la empresa	- 15 -
5.1	La empresa.....	- 15 -
5.2	Localización.....	- 15 -
5.3	Estudio del consumo eléctrico	- 16 -
5.3.1	Diseño de la instalación. RD 244/2019	- 17 -
5.4	Ubicación de la instalación fotovoltaica	- 18 -
6	Criterios de diseño de la instalación fotovoltaica	- 19 -
6.1	Estudio radiación solar	- 19 -
6.2	Elección módulo fotovoltaico	- 20 -
6.3	Inclinación del módulo	- 21 -
6.4	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROYECTO.....	- 23 -
7	Diseño de la instalación fotovoltaica.....	- 24 -
7.1	Elección de la superficie	- 24 -
7.2	Soporte de las placas solares.....	- 24 -
7.3	Distancia entre los módulos fotovoltaicos	- 25 -
7.3.1	Número de módulos a escoger	- 26 -

7.4	Cálculo y distribución del número de strings	- 27 -
7.5	Cálculo y distribución de los concentradores.....	- 28 -
7.6	Cálculo y distribución de los inversores	- 28 -
7.7	Comprobación del dimensionado	- 29 -
8	Diseño de la instalación eléctrica	- 32 -
8.1	Dimensionado del cableado	- 32 -
8.1.1	Criterio térmico	- 32 -
8.1.2	Criterio caída de tensión	- 33 -
8.2	Comparativa de criterios y selección del cableado	- 34 -
8.3	Recorrido del cableado.....	- 36 -
8.4	Componentes eléctricos.....	- 37 -
8.5	Protecciones	- 37 -
8.5.1	Protecciones Corriente Continua (CC)	- 38 -
8.5.2	Protecciones Corriente Alterna (AC)	- 40 -
8.6	Protección de puesta a tierra	- 42 -
8.7	Sistema anti vertido.....	- 44 -
9	Presupuesto técnico	- 46 -
10	Conclusiones.....	- 47 -
11	Bibliografía.....	- 48 -

II ANEXOS

Anexo 1. Presupuesto técnico -

Anexo 2. Pliego de condiciones-

Anexo 3. Planos

Anexo 4. Cálculos eléctricos

Índice Figuras

Figura 1. Energía renovable a nivel internacional. Fuente: Agencia Internacional de la Energía...	- 4 -
Figura 2. Participación de generación de energías renovables. Fuente: Rystad Energy.	- 5 -
Figura 3. Crecimiento energía fotovoltaica a nivel internacional. Fuente: Lazard.	- 6 -
Figura 4. Coste MWh generado energía. Fuente: Lazard.....	- 6 -
Figura 5. Energía solar fotovoltaica generada en España del año 2010 al 2022 Fuente: Statista Research Department.....	- 8 -
Figura 6. 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible Fuente: Asamblea General	- 10 -
Figura 7. Esquema instalación de autoconsumo. Fuente: Sfe solar.....	- 13 -
Figura 8. Geolocalización de la empresa. Fuente: Google Maps.	- 15 -
Figura 9. Superficie de la empresa. Fuente: Google Maps.....	- 16 -
Figura 10. Consumo total vs Consumo diurno. Fuente: Propia.	- 17 -
Figura 11. Irradiación mensual sobre plano fijo. Fuente: PVGIS y propia.	- 19 -
Figura 12. Comparación consumo diurno, generación eléctrica para diferentes grados. Fuente: Propia.	- 21 -
Figura 13. Comparación consumo diurno, generación eléctrica para 37 y 55 grados. Fuente: Propia.....	- 22 -
Figura 14. Distribución de las placas solares. Fuente: Propia y Google Maps.....	- 24 -
Figura 15. Calculo distancia entre placas solares. Fuente: IDAE.....	- 25 -
Figura 16. Diseño strings planta ar. Fuente: AutoCAD y propia.	- 27 -
Figura 17. Posición de los concentradores. Fuente: AutoCAD y propia.	- 28 -
Figura 18. Esquema planta solar. Fuente: AutoCAD y propia.	- 30 -
Figura 19. Comparación consumo y producción. Fuente: Propia.....	- 31 -
Figura 21. Curva características Tiempo-Corriente. Fuente: Autosolar.....	- 39 -

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparación consumo eléctrico y gasto económico. Fuente: Propia y la empresa.-	16
-	
Tabla 2. Consumo diurno. Fuente: Propia.	18
Tabla 3. Valores óptimos de la instalación fotovoltaica. Fuente: PVGIS y propia.	19
Tabla 4. Comparación módulos fotovoltaicos. Fuente: Propia.	20
Tabla 5. Coste módulos fotovoltaicos. Fuente: Propia.	21
Tabla 6. Comparación ángulos paneles fotovoltaicos. Fuente: Propia.	22
Tabla 7. Distancia entre paneles fotovoltaicos. Fuente: Propia.	25
Tabla 8. Cantidad de paneles posibles. Fuente: Propia.	26
Tabla 9. Energía producida por módulo. Fuente: PVGIS.	26
Tabla 10. Valores característicos de cada string. Fuente: propia.	28
Tabla 11. Propiedades del inversor. Fuente: propia.	29
Tabla 12. Valores a la entrada del inversor. Fuente: propia.	29
Tabla 13. Caída de tensión máxima de cada tramo. Fuente: propia.	33
Tabla 14. Sección escogida tramo concentrador 1. Fuente: propia.	34
Tabla 15. Sección escogida tramo concentrador 2. Fuente: propia.	35
Tabla 16. Sección escogida tramo concentrador 3. Fuente: propia.	35
Tabla 17. Sección escogida tramo inversores. Fuente: propia.	36
Tabla 18. Sección escogida tramo CGBT. Fuente: propia.	36
Tabla 19. Volumen de cable necesario. Fuente: propia.	36
Tabla 20. Volumen de cable necesario. Fuente: propia.	40
Tabla 21. Sección mínima conductores de protección para la puesta a tierra. Fuente: REBT.-	43
Tabla 22. Sección calculada conductores de protección. Fuente: Propia.	43
Tabla 23. Cantidad cable de protección. Fuente: Propia.	44
Tabla 24. Sección conductor puesta a tierra. Fuente: REBT.	44
Tabla 25. Cantidad cable de cobre necesaria. Fuente: Propia.	44

Diseño de una instalación fotovoltaica para una potencia de 265 kW para autoconsumo sin excedentes con vertido a red interior de baja tensión en una fábrica de mecanizados en el interior de Valencia.

MEMORIA

1 Objetivo del TFG

El objetivo de este TFG es el diseño de una instalación fotovoltaica con vertido a red interna en una empresa de mecanizados del interior de la Comunidad Valencia, con el fin de poder cubrir los costes eléctricos debido al consumo diurno de esta.

En este TFG se va a demostrar los conocimientos adquiridos tanto en la asignatura de Tecnologías Energéticas, como en Tecnología eléctrica, como en el resto de la carrera, con el fin de dar por terminado el Grado de Ingeniería de Tecnologías Industriales.

Para poder realizar el diseño de este proyecto se realizarán los siguientes pasos:

- 1) Introducción al recurso solar y la situación española ante las energías renovables y más en detalle las tecnologías fotovoltaicas.
- 2) Presentación de la empresa y estudio de la demanda eléctrica.
- 3) Determinación de los criterios de diseño.
- 4) Diseño de la instalación fotovoltaica.
- 5) Diseño de la instalación eléctrica
- 6) Presupuesto técnico de la instalación

Con el diseño de este proyecto se va a tratar de que la empresa sea capaz de cubrir los costes eléctricos, pero también buscará un beneficio de la empresa gracias a la mejora en la sostenibilidad ambiental y la responsabilidad social, buscando equilibrar las necesidades empresariales con la preservación del entorno natural.

Además, el objetivo principal va a ser cumplir con los Objetivos de desarrollo Sostenible, estos son un conjunto de 17 objetivos globales establecidos por las Naciones Unidas en 2015 como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Estos objetivos están diseñados para abordar una amplia gama de desafíos globales, incluyendo la pobreza, el hambre, la salud, la educación, la igualdad de género, la energía sostenible, la acción climática y muchos otros. Su objetivo principal es mejorar la calidad de vida de las personas y proteger el planeta, todo mientras se asegura que nadie se quede atrás.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible ofrecen un marco amplio y significativo para que las instalaciones fotovoltaicas contribuyan a un desarrollo más sostenible, protegiendo el medio ambiente, mejorando la calidad de vida de las personas y promoviendo la prosperidad económica. Al alinear sus objetivos con los ODS, estas instalaciones pueden tener un impacto positivo más allá de la generación de energía limpia, abordando una serie de desafíos globales.

2 Introducción

En la era moderna, la energía se ha convertido en el motor que impulsa la economía, la tecnología y el bienestar de la sociedad. Sin embargo, el crecimiento continuo de la población mundial, la expansión industrial y la constante demanda de recursos energéticos han llevado a un dilema cada vez más apremiante: la escasez de energía. La dependencia de fuentes de energía no renovables y la preocupante explotación de recursos naturales han dado lugar a una crisis global que amenaza la estabilidad económica, ambiental y social.

En este contexto, la escasez de energía se ha convertido en un desafío multifacético que afecta a todos los sectores de la sociedad, desde las industrias hasta los hogares. Las fuentes de energía tradicionales, como los combustibles fósiles, han demostrado ser insostenibles a largo plazo debido a su agotamiento gradual y a los efectos adversos que tienen sobre el medio ambiente, como la emisión de gases de efecto invernadero y la degradación del aire y el agua.

La incertidumbre en torno a la disponibilidad futura de recursos energéticos plantea interrogantes críticos sobre la seguridad energética y la estabilidad económica de las naciones. Los aumentos en los precios de la energía, la volatilidad en los mercados energéticos y las tensiones geopolíticas asociadas con la distribución de recursos energéticos limitados han resaltado la necesidad urgente de adoptar enfoques alternativos y sostenibles.

Las energías renovables han emergido como una solución prometedora para abordar la escasez de energía y reducir la dependencia de fuentes no renovables. La energía solar, en particular, ha ganado atención debido a su disponibilidad generalizada y su potencial para proporcionar una fuente limpia y abundante de electricidad. Este trabajo se centra en explorar cómo la implementación de una instalación fotovoltaica en una empresa no solo puede abordar la problemática de la escasez de energía, sino también contribuir a la sostenibilidad ambiental y al desarrollo económico.

2.1 Energía renovable y no renovable

2.1.1 Energías No Renovables

Las energías no renovables, como los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), han sido históricamente la columna vertebral de la producción energética en todo el mundo. A pesar de su eficiencia y disponibilidad, estas fuentes presentan desafíos ambientales y económicos significativos.

Ventajas:

- Alta densidad energética: Los combustibles fósiles tienen una alta capacidad para generar energía, lo que ha impulsado la industrialización y el crecimiento económico.
- Infraestructura establecida: La infraestructura existente para la extracción, transporte y uso de combustibles fósiles facilita su acceso y utilización.

Desventajas de las Energías No Renovables:

- Emisiones de gases de efecto invernadero: La quema de combustibles fósiles es una fuente importante de emisiones de gases que contribuyen al cambio climático.

- Agotamiento de recursos: Las reservas de combustibles fósiles son finitas y su agotamiento es una preocupación a largo plazo.
- Volatilidad de precios: Los precios de los combustibles fósiles son susceptibles a fluctuaciones geopolíticas y económicas.

2.1.2 Energías Renovables

Las energías renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica, se basan en fuentes naturales que son inagotables y tienen un impacto ambiental significativamente menor en comparación con las no renovables.

Ventajas de las Energías Renovables:

- Sostenibilidad: Las fuentes renovables son virtualmente inagotables y no contribuyen al agotamiento de recursos naturales.
- Bajas emisiones: La generación de energía renovable produce emisiones mínimas o nulas de gases de efecto invernadero.
- Diversificación energética: Las fuentes renovables diversifican la matriz energética y reducen la dependencia de recursos externos.

Desventajas de las Energías Renovables:

- Intermittencia: La disponibilidad de fuentes renovables, como el sol y el viento, puede ser variable y depende de factores climáticos.
- Necesidad de infraestructura: Requieren inversiones significativas en infraestructura, como parques solares y aerogeneradores.

2.2 Valores Actuales internacionales

Según las estadísticas de la última Actualización del Mercado de las Energías Renovables de la Agencia Internacional de la Energía (Roca, elperiodicodelaenergia.com, 2023), se ha marcado una fase de despegue respecto al acelerado crecimiento de las energías renovables. Todo esto teniendo como base los dos últimos años que, a pesar de los problemas con la cadena de suministro en la pandemia, tuvimos un modesto crecimiento en lo que respecta al desarrollo de las energías renovables.

La capacidad global de energías renovables experimentará un notable incremento de 107 gigavatios, alcanzando más de 440 gigavatios para el año 2023. Este incremento representa el mayor aumento en términos absolutos registrado en la historia, y se ve impulsado por mejoras en las políticas de respaldo, el creciente interés en la seguridad energética, y la competitividad de los costos de energía proveniente de fuentes como la solar, la eólica y el almacenamiento.

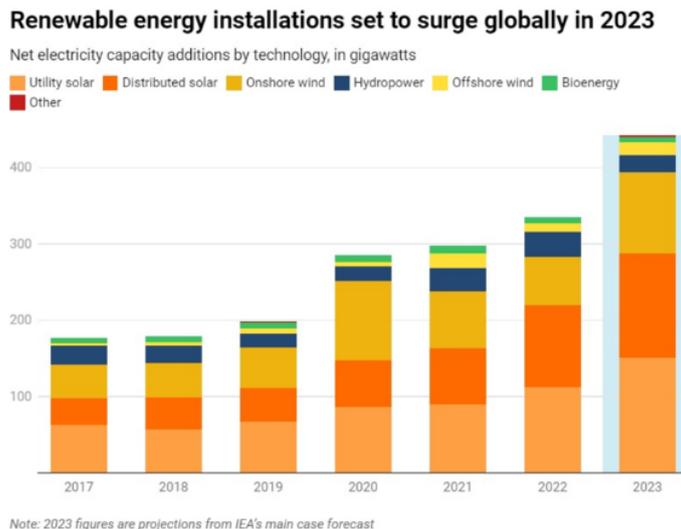


Figura 1. Energía renovable a nivel internacional. Fuente: Agencia Internacional de la Energía.

Estos factores de expansión están mostrando una mayor influencia que los desafíos asociados con el aumento de las tasas de interés, la inflación y las perturbaciones en la cadena de suministro que aún persisten desde la pandemia de COVID-19.

El crecimiento en la capacidad de generación de energía eólica terrestre está desempeñando un papel fundamental en el aumento global del mercado. Después de dos años de disminución, se proyecta que la capacidad de generación de energía eólica terrestre se recuperará en un 70% en 2023, alcanzando un máximo histórico de 107 gigavatios. Muchos de estos nuevos proyectos se están llevando a cabo en China, como resultado de la recuperación de proyectos que se habían retrasado debido a la pandemia de COVID-19.

Sin embargo, el informe no es tan optimista sobre el futuro a largo plazo de la industria eólica a nivel mundial más allá de este año. Los analistas de la Agencia Internacional de Energía (AIE) predicen que este repunte será de corta duración y advierten que, "a menos que se implementen políticas de manera rápida", las adiciones de capacidad de generación de energía eólica terrestre en 2024 podrían disminuir en aproximadamente un 5% en comparación con los niveles de 2023. A pesar de esto, el informe sugiere que las perspectivas para el mercado solar son positivas tanto en el presente como en los próximos años.

A pesar de que Estados Unidos, la Unión Europea e India tienen mercados de energías renovables saludables y políticas cada vez más favorables, China es la principal fuente de este notable crecimiento. China, que actualmente es el mayor emisor de dióxido de carbono del mundo, consolidará su posición como líder mundial en energías renovables en los años venideros, con aproximadamente el 70% de todos los nuevos proyectos de energía eólica marina, más del 60% de los proyectos de energía eólica terrestre y alrededor del 50% de los proyectos de energía solar fotovoltaica previstos hasta 2024.

2.3 Valores Actuales en España

En el ámbito de España, se ha observado un notorio crecimiento en el uso de energías renovables en los últimos años. Según los datos proporcionados por la empresa Rystad Energy (Roca, elperiodicodelaenergia.com, 2023), la capacidad de generación de energía solar y eólica ha experimentado un marcado aumento desde el año 2000 hasta la fecha actual de 2023. Esto se explica por el hecho de que España ha ocupado una posición destacada en la industria

Europea de las energías renovables durante mucho tiempo, realizando inversiones significativas en energía solar y eólica en la última década. En particular, España fue uno de los pioneros en adoptar la tecnología de energía eólica terrestre, que ahora constituye más del 20% de la producción de electricidad en el país. Asimismo, las considerables inversiones en energía solar fotovoltaica han impulsado tanto la capacidad de generación como la producción en los años recientes. Aunque en el pasado, la energía hidroeléctrica representaba la principal fuente de energía renovable en España, actualmente constituye aproximadamente el 10% de la producción total de energía, lo que ha contribuido a disminuir la dependencia de fuentes de energía no renovable. Fabian Ronningen, analista sénior de energías renovables y energía en Rystad Energy, comentó: "Los logros obtenidos por España en el campo de las energías renovables no deberían sorprender, dado su historial de inversiones estratégicas y su adopción temprana de estas tecnologías. El progreso del país debería servir como un claro punto de referencia para otras naciones, demostrando que un futuro energético más limpio es alcanzable".

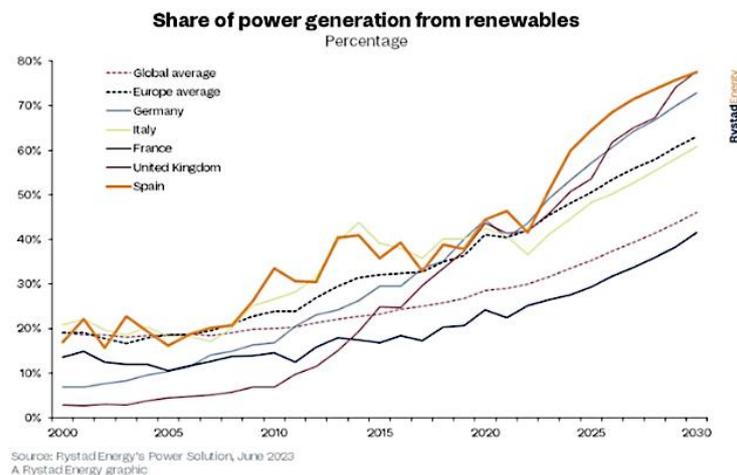


Figura 2. Participación de generación de energías renovables. Fuente: Rystad Energy.

2.4 Valores Actuales internacionales energía fotovoltaica

En el último informe de SolarPower Europe titulado "Perspectivas Globales del Mercado de Energía Solar 2023-2027", publicado en junio de 2023 (F., 2023), se presentan datos reveladores. En primer lugar, el año 2022 se ha convertido en un año histórico en términos de energía solar fotovoltaica. Nunca antes en la historia se había añadido tanta capacidad de generación de energía solar al panorama energético global como en los últimos doce meses del 2022. La industria solar instaló una asombrosa cantidad de 239 gigavatios (239,000 megavatios, MW) en todo el mundo. El crecimiento registrado en 2022 fue excepcional, con un aumento del 45% en comparación con el año anterior. Pero lo que se espera para el año 2023 es aún más impresionante. Según SolarPower Europe, la actividad en los mercados durante los primeros meses de 2023 sugiere un aumento para este año de más del 43%. La asociación europea del sector fotovoltaico (que resumió este dinamismo en la frase "otro año de auge solar") prevé la adición de 341 gigavatios de nueva capacidad durante este año. La expansión de la energía solar continúa imparables: un aumento del 19% en 2020, un 18% en 2021, un increíble 45% en 2022 y un pronóstico de aumento del 43% para el presente año.

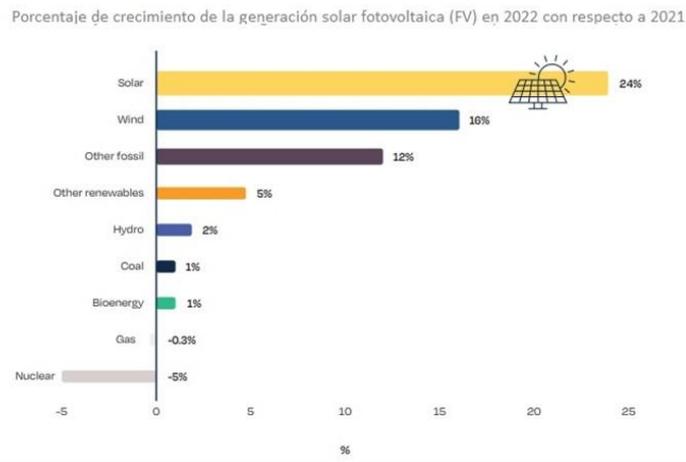


Figura 3. Crecimiento energía fotovoltaica a nivel internacional. Fuente: Lazard.

Según lo ilustrado en la Figura 3, durante el año 2022 en comparación con el año 2021, la energía solar ha experimentado un crecimiento considerable, superando con creces a otras fuentes de energía (con un aumento de 14 puntos porcentuales más que la segunda en la lista). Este aumento destaca particularmente en comparación con la energía eólica, que se encuentra en segundo lugar con un aumento del 10%, mientras que la energía nuclear ha experimentado una disminución del 5%. Esto se debe a varios factores que explican el continuo éxito de la energía solar, según lo señalado por SolarPower Europe, pero dos factores sobresalen entre los demás: la rapidez con la que se implementan nuevas instalaciones solares (tanto en suelos como en techos) y los costos reducidos. Con el tiempo, la tecnología ha logrado significativamente reducir sus costos. Como resultado, el informe siguiente demuestra que ahora es más económico generar electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos en nuevas instalaciones que mediante la quema de combustibles fósiles en centrales térmicas o nucleares de nueva construcción.

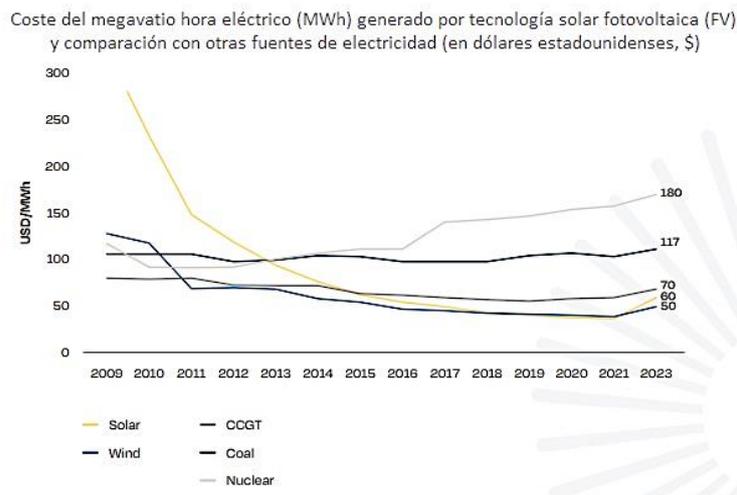


Figura 4. Coste MWh generada energía. Fuente: Lazard.

En el análisis comparativo con otras fuentes de energía, la energía solar ha experimentado el mayor avance en los últimos quince años. Aunque su costo es superior al de la energía eólica, la energía solar es la opción en la que se está depositando una mayor dosis de confianza. Este

respaldo se refleja en el hecho de que la energía solar fotovoltaica es actualmente la fuente de energía renovable de mayor envergadura que se está implementando a nivel global.

2.5 Valores Actuales nacionales energía fotovoltaica

En el año 2022 y lo que llevamos de 2023, la energía fotovoltaica en España ha experimentado una evolución sumamente positiva (Statista Research Department, 2023), marcando un hito en la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y limpias. La expansión de la energía solar fotovoltaica ha sido impulsada por una combinación de factores económicos, tecnológicos y políticos que han contribuido a su rápido crecimiento y aceptación en el país.

Durante este período, se ha observado un aumento significativo en la capacidad instalada de energía fotovoltaica en España. Los avances en tecnología han permitido que los paneles solares sean más eficientes y asequibles, lo que a su vez ha facilitado la incorporación de sistemas fotovoltaicos en una variedad de entornos, desde instalaciones comerciales y residenciales hasta proyectos a gran escala.

Las políticas y regulaciones progresivas han desempeñado un papel fundamental en este avance. El gobierno y las autoridades locales han implementado incentivos y programas de apoyo a las energías renovables, incluida la energía solar, para fomentar la inversión y reducir las barreras económicas para la adopción de esta tecnología.

La energía fotovoltaica también ha demostrado ser un motor económico, generando empleos en el sector de las energías renovables y atrayendo inversiones en proyectos de desarrollo. La creación de empleo en la instalación, mantenimiento y gestión de sistemas fotovoltaicos ha contribuido a fortalecer la economía local y nacional.

Además de su impacto positivo en la economía, la energía solar fotovoltaica ha desempeñado un papel importante en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y en la diversificación de la matriz energética de España. Esto ha contribuido a la resiliencia energética del país y a su compromiso global para abordar el cambio climático.

En resumen, en el último año y medio, la energía fotovoltaica en España ha experimentado un crecimiento significativo gracias a avances tecnológicos, políticas favorables y su contribución a la economía y al medio ambiente. Esta evolución positiva representa un paso hacia adelante en la construcción de un futuro energético más sostenible y una muestra de cómo la energía solar fotovoltaica se ha convertido en una parte integral del panorama energético español.

Para lograr una visión más amplia del desarrollo español de la energía fotovoltaica, presentamos en la siguiente figura, la energía fotovoltaica generada en España desde el año 2010 hasta el año 2022, inclusive.

Diseño de una instalación fotovoltaica para una potencia de 265 kW para autoconsumo sin excedentes con vertido a red interior de baja tensión en una fábrica de mecanizados en el interior de Valencia.

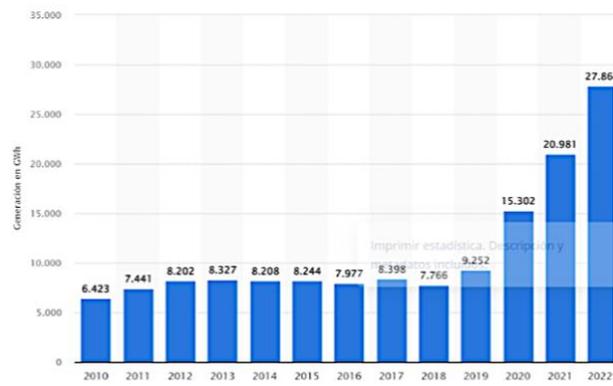


Figura 5. Energía solar fotovoltaica generada en España del año 2010 al 2022 Fuente: Statista Research Department

3 Desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible es un enfoque integral que busca satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Fue popularizado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas en su informe "Nuestro futuro común" en 1987. Este enfoque reconoce la interconexión entre aspectos económicos, sociales y ambientales, y busca equilibrarlos de manera armoniosa.

Implica alcanzar un equilibrio entre el crecimiento económico, la equidad social y la protección del medio ambiente. En esencia, se trata de crear un futuro en el que la calidad de vida mejore para todas las personas, al tiempo que se conservan los recursos naturales y se evita el agotamiento de los mismos.

Este enfoque se basa en varios principios clave:

- **Equidad intergeneracional:** Considerar las necesidades de las futuras generaciones y tomar decisiones que no agoten los recursos ni comprometan su bienestar.
- **Equidad intrageneracional:** Garantizar que el desarrollo beneficie a todas las personas, sin importar su género, etnia, origen socioeconómico, etc.
- **Conservación de recursos:** Utilizar los recursos naturales de manera responsable y sostenible para evitar el agotamiento y la degradación del medio ambiente.
- **Desarrollo económico inclusivo:** Promover un crecimiento económico que beneficie a todas las personas, incluyendo a las comunidades más marginadas.
- **Preservación del medio ambiente:** Proteger los ecosistemas y la biodiversidad, minimizar la contaminación y reducir el impacto ambiental.
- **Cooperación internacional:** Reconocer que muchos desafíos, como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, trascienden las fronteras nacionales y requieren cooperación global.

El desarrollo sostenible se refleja en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, que establece 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con metas específicas para abordar diversas problemáticas, desde la pobreza y el hambre hasta la educación y la energía limpia.

En resumen, el desarrollo sostenible busca crear un equilibrio entre las necesidades humanas, la equidad social y la protección del medio ambiente, con el objetivo de garantizar un futuro viable y próspero para las generaciones actuales y futuras.

3.1 Objetivos de la ODS

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible se pueden apreciar en la siguiente figura:



Figura 6. 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible Fuente: Asamblea General

Por poder concretar, los objetivos con los que tiene relación la energía fotovoltaica son que se presentan a continuación:

- **Objetivo 7.** Energía asequible y no contaminante: Busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. Algunas de las metas que se propone con este objetivo son: aumentar la proporción de energía renovable en el mix energético global y duplicar la tasa global de mejora en la eficiencia energética.
- **Objetivo 9.** Industria, innovación e infraestructura: Cuyo objetivo es construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación. Entre sus metas podemos encontrar el desarrollo de infraestructuras de calidad, fiables, sostenibles y resilientes y fomentar la innovación y aumentar la inversión en investigación y desarrollo.
- **Objetivo 11.** Ciudades y comunidades sostenibles: Busca lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. A través de ser capaces de proporcionar acceso a viviendas seguras, asequibles y sostenibles y redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural de las comunidades.
- **Objetivo 12.** Producción y consumo responsables: Trata de garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Entre sus metas específicas se encuentra lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales y reducir significativamente la generación de residuos y la contaminación.
- **Objetivo 13.** Acción por el clima: Su meta es adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, a través de reforzar la resiliencia y la capacidad de adaptación a los impactos climáticos y de intensificar los esfuerzos para combatir la deforestación y promover la reforestación.
- **Objetivo 15.** Vida de ecosistemas terrestres: Gestionar sosteniblemente los bosques, combatir la desertificación, detener la degradación de la tierra y frenar la pérdida de biodiversidad. Busca tomar medidas para prevenir la extinción de especies en peligro y proteger los ecosistemas amenazados, además de promover la gestión sostenible de los bosques y detener la deforestación.

La energía fotovoltaica contribuye directamente a estos objetivos al proporcionar una fuente de energía limpia y renovable que reduce la dependencia de los combustibles fósiles, disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero y promueve un desarrollo sostenible en varias áreas:

- **Energía Asequible y No Contaminante:** La energía fotovoltaica es una fuente de energía asequible a largo plazo que puede proporcionar electricidad a comunidades remotas y desatendidas, reduciendo así la brecha energética.
- **Industria, Innovación e Infraestructura:** La inversión en tecnología fotovoltaica promueve la innovación en el sector energético, mejorando la eficiencia y la capacidad de generación de energía renovable.
- **Ciudades y Comunidades Sostenibles:** La integración de sistemas fotovoltaicos en edificios y áreas urbanas puede ayudar a reducir la demanda de energía de la red eléctrica y mejorar la sostenibilidad de las ciudades.
- **Producción y Consumo Responsables:** La energía fotovoltaica es una forma responsable de producción de energía, ya que no emite gases contaminantes ni agota los recursos naturales.
- **Acción por el Clima:** La energía solar fotovoltaica es una herramienta clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático.
- **Vida de Ecosistemas Terrestres:** Al usar una fuente de energía renovable en lugar de combustibles fósiles, se reduce la presión sobre los ecosistemas terrestres y se protege la biodiversidad.

En resumen, la energía fotovoltaica contribuye a múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible al promover una transición hacia una energía más sostenible, limpia y accesible para todos, mientras se abordan los desafíos ambientales y de desarrollo.

3.2 Acuerdo de París

El Acuerdo de París es un acuerdo internacional sobre el cambio climático adoptado en diciembre de 2015 durante la 21ª Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) celebrada en París, Francia. El objetivo principal del Acuerdo de París es abordar el cambio climático global y limitar el aumento de la temperatura global muy por debajo de 2 grados Celsius con respecto a los niveles preindustriales, y trabajar para limitar el aumento a 1.5 grados Celsius para reducir los impactos negativos del cambio climático.

Dicho acuerdo es un pacto histórico en el que casi todos los países del mundo se comprometen a tomar medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que son los principales impulsores del calentamiento global y el cambio climático. El acuerdo establece un marco legal y político para que los países desarrollen y presenten sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), que son sus objetivos y planes específicos para reducir las emisiones y adaptarse a los efectos del cambio climático.

Algunos puntos clave del Acuerdo de París incluyen:

- Limitar el aumento de la temperatura global muy por debajo de 2 grados Celsius, con esfuerzos para limitar el aumento a 1.5 grados Celsius.
- Los participantes presentarán sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) para describir cómo planean reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Y revisarán y actualizarán sus NDC cada cinco años para aumentar la ambición en la reducción de emisiones.
- Los países desarrollados se comprometen a movilizar fondos para ayudar a los países en desarrollo a mitigar el cambio climático y adaptarse a sus impactos.

- Buscan la adaptación, se enfoca en ayudar a los países a adaptarse a los efectos inevitables del cambio climático, como eventos climáticos extremos y aumento del nivel del mar.
- Transparencia, se informará regularmente sobre sus emisiones y sus esfuerzos para abordar el cambio climático, aumentando la transparencia y la responsabilidad.

El Acuerdo de París es un hito en la cooperación internacional para enfrentar el cambio climático y representa un compromiso global para trabajar juntos y tomar medidas concretas para limitar sus impactos. Es un ejemplo importante de cómo los países pueden colaborar en temas ambientales críticos para el beneficio de las generaciones presentes y futuras.

3.3 Relación TFG con el Acuerdo De París y con los ODS.

Para poder relacionar El Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) están relacionados con una instalación fotovoltaica de autoconsumo con vertido a red interna, como en nuestro caso, de varias maneras:

- **Contribución a la Mitigación del Cambio Climático** (Acuerdo de París - ODS 13): Una instalación fotovoltaica de autoconsumo con vertido a red interna genera electricidad a partir de fuentes renovables, en nuestro caso concreto, la energía solar, que no emite gases de efecto invernadero. Esto contribuye directamente a la mitigación del cambio climático y al logro de los objetivos del Acuerdo de París para limitar el aumento de la temperatura global.
- **Energía Asequible y No Contaminante** (ODS 7): Al generar su propia energía a partir de fuentes renovables, la instalación fotovoltaica puede proporcionar acceso a una fuente de energía asequible y no contaminante, no solo para su propio consumo sino también para otros dispositivos en su red interna. Esto se alinea con el ODS 7, que busca garantizar el acceso universal a una energía asequible y fiable.
- **Producción y Consumo Responsables** (ODS 12): Al aprovechar la energía solar, una fuente limpia y sostenible, estás contribuyendo a un patrón de producción y consumo más responsable. Reducir la dependencia de los combustibles fósiles y la generación de energía contaminante se alinea con el ODS 12, que promueve patrones de producción y consumo sostenibles.
- **Trabajo Decente y Crecimiento Económico** (ODS 8): La instalación, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos puede generar empleo y contribuir al crecimiento económico local, lo que se relaciona con el ODS 8.
- **Vida de Ecosistemas Terrestres** (ODS 15): Al reducir la dependencia de los combustibles fósiles, la energía solar contribuye a la conservación de los ecosistemas terrestres, lo que se alinea con el ODS 15.
- **Acción por el Clima** (ODS 13): Al generar energía a partir de fuentes renovables y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, una instalación fotovoltaica contribuye directamente a la acción por el clima, un objetivo central del Acuerdo de París y el ODS 13.

En resumen, una instalación fotovoltaica de autoconsumo con vertido a red interna está intrínsecamente relacionada con el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible al promover una fuente de energía limpia, asequible y sostenible, así como al contribuir a la mitigación del cambio climático y al desarrollo sostenible en general. Su implementación puede tener un impacto positivo en múltiples áreas que van más allá de la generación de energía.

4 Energía fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una forma de generar electricidad a partir de la radiación solar utilizando paneles solares fotovoltaicos. Estos paneles solares, también conocidos como módulos fotovoltaicos, están compuestos por células solares que convierten la luz solar directamente en electricidad mediante el efecto fotovoltaico.

El proceso de generación de energía solar fotovoltaica se basa en los siguientes pasos:

1. **Captura de la radiación solar:** Los paneles solares están diseñados para capturar la luz solar. Cada célula solar está hecha de material semiconductor, generalmente silicio, que tiene propiedades que permiten la generación de electricidad cuando se expone a la luz solar.
2. **Efecto fotovoltaico:** Cuando los fotones de luz solar inciden sobre las células solares, liberan electrones del material semiconductor, generando una corriente eléctrica. Este proceso se llama efecto fotovoltaico y es la base de la conversión de la energía solar en electricidad.
3. **Generación de corriente continua:** La corriente eléctrica generada por las células solares es corriente continua (CC), que es la forma de electricidad que fluye en una sola dirección.
4. **Inversor:** La corriente continua producida por los paneles solares debe convertirse en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad que utilizaremos en nuestra empresa. Esto se logra mediante un dispositivo llamado inversor.
5. **Distribución y uso:** La corriente alterna deberá pasar por el CGBT antes de ser utilizada por las máquinas.

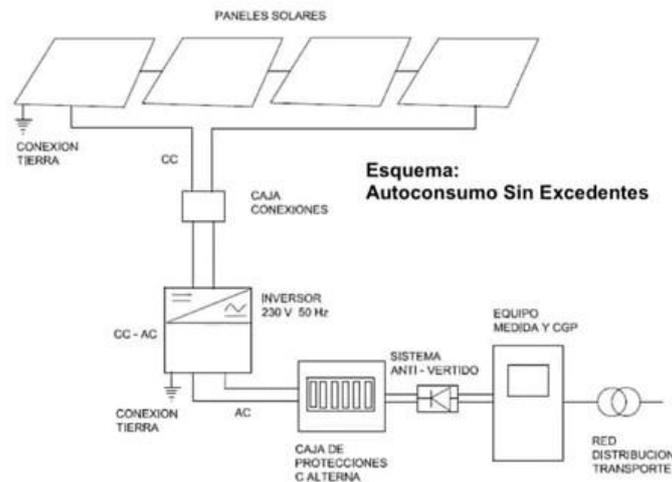


Figura 7. Esquema instalación de autoconsumo. Fuente: Sfe solar.

La energía solar fotovoltaica ofrece una serie de beneficios significativos:

- Ofrece una energía renovable, la cual es una fuente de energía inagotable, ya que el sol emite radiación constantemente.

- También un bajo impacto ambiental.
- Con la generación de electricidad a partir de la energía solar no se produce emisiones de gases de efecto invernadero ni contaminantes atmosféricos, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático.
- Se produce una reducción de costos a largo plazo, puesto que aunque la inversión inicial en paneles solares puede ser alta, los costos operativos y de mantenimiento son relativamente bajos, lo que conlleva a ahorros a largo plazo.
- Y generación distribuida, los sistemas solares fotovoltaicos pueden instalarse en techos residenciales, comerciales e industriales, lo que permite una generación de energía descentralizada.
- Además, da una independencia energética, puede hacer que los propietarios de empresas sean menos dependientes de las redes eléctricas convencionales y de los precios cambiantes de la energía.

En resumen, la energía solar fotovoltaica es una forma limpia y sostenible de generar electricidad utilizando la radiación solar como fuente de energía, y juega un papel importante en la transición hacia una matriz energética más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

5 Estudio de la empresa

5.1 La empresa

La empresa fue fundada en el año 1957 en Alborache. En sus orígenes su principal actividad fue la fabricación de maquinaria para la industria papelera y del cemento.

A principios de los 80 se fue introduciendo en el sector del automóvil, adaptando su parque de maquinaria a las nuevas tecnologías y necesidades del sector.

Este cambio propició igualmente el desarrollo de su departamento de ingeniería, para el desarrollo de proyectos propios y de terceros.

Desde el sector del automóvil fue extendiendo su actividad a nuevos campos como el energético, naval, ferroviario, aeronáutico, bienes de equipo y grandes mecanizados.

En la actualidad contamos con unas modernas instalaciones de más de 6.000 m², dotadas de medios de producción de último nivel, que nos permiten cumplir los compromisos de calidad y plazos de ejecución a precios competitivos, para satisfacer las necesidades de nuestros clientes.

Su plantilla está formada por más de 50 profesionales, con un amplio departamento de ingeniería en continuo crecimiento.

5.2 Localización

La fábrica se sitúa en la comarca de Buñol, concretamente en Alborache, un pueblo situado en el interior de la Comunidad Valenciana.



Figura 8. Geolocalización de la empresa. Fuente: Google Maps.

La empresa cuenta con una superficie total de 21.000 m², la cual contiene tres fábricas, zona de almacenamiento y aparcamiento que sumados en total ocupan 9.000 m², dejando un total de 12.000 m² de superficie libre donde es posible disponer la instalación fotovoltaica. En este proyecto, se ha decidido colocar el campo fotovoltaico en la parcela anexa a la fábrica

debido a la gran superficie de la que dispone la cual permite la instalación de un elevado número de paneles y, además, da lugar a la posibilidad de aumentar la planta en un futuro.

En la siguiente figura se muestra una vista superior del terreno de la fábrica delimitado.



Figura 9. Superficie de la empresa. Fuente: Google Maps.

5.3 Estudio del consumo eléctrico

Realizamos el análisis de la empresa desde el mes de mayo de 2022 hasta mayo de 2023, durante un año entero. Obteniendo un consumo eléctrico total de 420.413 kWh, lo que se traduce en un coste económico de 100.359,49 €. Teniendo en cuenta que la empresa cuenta con 50 empleados, y la facturación del año anterior fue de 2.617.350 €, el gasto eléctrico supone alrededor de un 4% del coste de la empresa, lo que se podría reducir considerablemente gracias a la instalación fotovoltaica.

Tabla 1. Comparación consumo eléctrico y gasto económico. Fuente: Propia y la empresa.

Mes	Suma de AI (KWh)	FACTURA (€)
2022	262.333	60.956,8
Mayo	35.102	7.731,07
Junio	32.367	7.350,39
Julio	28.032	8.286,02
Agosto	32.045	7.320,37
Septiembre	34.634	7.790,21
Octubre	30.199	6.840,7
Noviembre	37.665	9.912,05
Diciembre	32.289	5.725,99
2023	158.080	39.402,69
Enero	42.033	8.256,08
Febrero	44.088	11.238,53
Marzo	40.958	12.035,57
Abril	31.001	7.872,51
Total general	420.413	100.359,49

La empresa cuenta con un horario de dos turnos diarios, el turno matutino que es de 6 de la mañana hasta las 2 del mediodía, y el turno vespertino que es desde las 2 hasta las 10 de la

noche. Como se puede apreciar, un gran porcentaje del turno sucede durante horario solar, lo que hace aún más conveniente la instalación fotovoltaica. En la siguiente gráfica, comparamos el consumo total frente al consumo únicamente diurno.

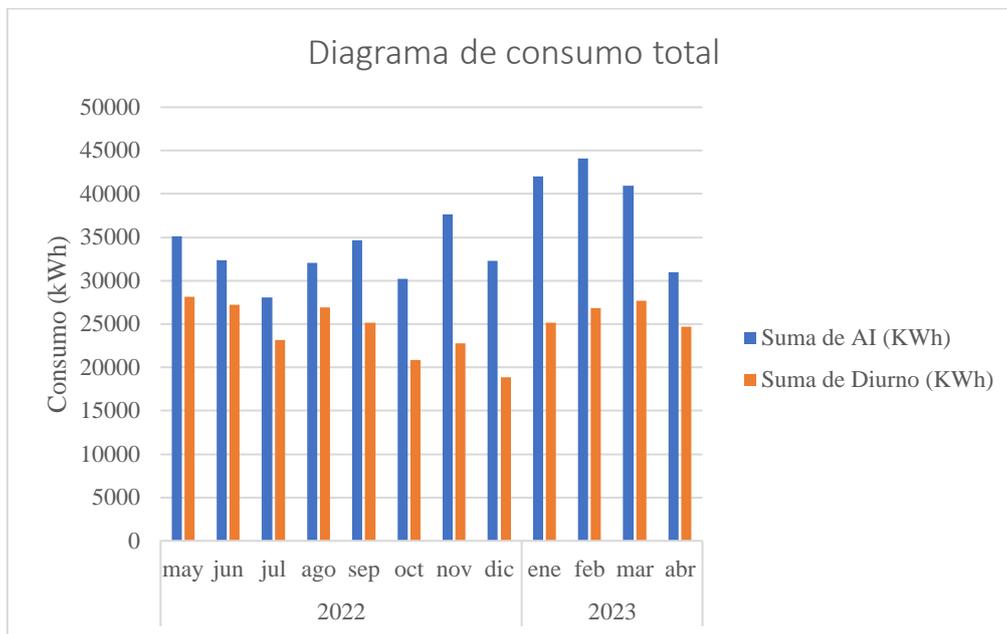


Figura 10. Consumo total vs Consumo diurno. Fuente: Propia.

Como podemos observar tenemos una gran similitud de ambos consumos respecto a los meses de verano mientras que en los meses de otoño-invierno, que son aquellos con menos horas de sol, la diferencia entre consumo total y diurno aumenta considerablemente.

5.3.1 Diseño de la instalación. RD 244/2019

El autoconsumo fotovoltaico es consumir la energía generada de manera directa para ahorrar en la factura. Existen dos modalidades de autoconsumo: Con excedentes y sin excedentes.

- **Autoconsumo sin excedentes:** son aquellas instalaciones que no vierten nada de energía a la red. Este tipo de instalaciones necesitan un sistema anti vertido para asegurarse de no verter nada, y su tramitación administrativa es mínima.
- **Autoconsumo con excedentes:** son aquellas instalaciones que tienen generación de electricidad en exceso y van a dirigirla hacia la red eléctrica. Se pueden distinguir principalmente dos bloques:
 - **Modalidad con excedentes acogidos a compensación:** Este bloque se caracteriza porque la empresa eléctrica compensará en la factura de la empresa la energía vertida a la red. Podrán acogerse viviendas e industria con potencias menores de 100 kW.
 - **Modalidad con excedentes no acogida a compensación simplificada:** Son aquellas instalaciones con potencias mayores a 100 kW cuyos excedentes serán volcados a red, pero en régimen de venta, no de compensación. Y el precio de la energía vertida será el dispuesto por la legislación de instalaciones generadoras de electricidad.

El objetivo de este TFG es el diseño de una instalación fotovoltaica para que la empresa sea capaz cubrir el consumo diurno, que como vemos en la siguiente tabla es un total de 297.536 kWh anuales.

Tabla 2. Consumo diurno. Fuente: Propia.

Mes	Suma de Diurno (kWh)
2022	193.118
Mayo	28.105
Junio	27.258
Julio	23.182
Agosto	26.889
Septiembre	25.165
Octubre	20.893
Noviembre	22.792
Diciembre	18.834
2023	104.418
Enero	25.177
Febrero	26.874
Marzo	27.665
Abril	24.702
Total general	297.536

Como ya se ha explicado, el objetivo de la empresa es únicamente el de cubrir el consumo diurno, por lo que no se generarán excedentes y por tanto la empresa se acoge al modelo de autoconsumo sin excedentes, aunque como se comentará posteriormente, la empresa tiene la posibilidad de aumentar el tamaño de la planta por lo que, en caso de hacerlo, se debería acoger al modelo de autoconsumo con excedentes, no acogido a compensación simplificada.

5.4 Ubicación de la instalación fotovoltaica

La instalación fotovoltaica se va a ubicar estratégicamente en un campo contiguo a la fábrica. Esta decisión se debe a la limitación de espacio en el techo de la planta, que está ocupado por claraboyas y otras estructuras. A pesar de que, por superficie del techo, si que se podría diseñar la instalación sobre este, debido a las claraboyas y tragaluces se imposibilita la colocación de las placas en esta posición. Por lo que la solución más eficiente es la de optar por el campo adyacente, garantizando una superficie amplia y despejada que permitirá aprovechar al máximo la energía solar disponible, además de posibilitar un aumento de la table en caso de que así se deseara. Esta ubicación fuera de la fábrica nos brinda la oportunidad de generar una cantidad significativa de energía renovable, contribuyendo así a nuestros objetivos de sostenibilidad y reducción de emisiones de carbono

6 Criterios de diseño de la instalación fotovoltaica

6.1 Estudio radiación solar

P.V.G.I.S (Photovoltaic Geographical Information System) (P.V.G.I.S, 2023) es la herramienta que se va a utilizar para saber la radiación en nuestra superficie. La radiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y es la energía que los módulos fotovoltaicos absorberán para generar electricidad.

Introduciendo las coordenadas de la empresa (latitud, longitud) = (39.391, -0.787) obtenemos los siguientes valores óptimos para la colocación de las placas:

Tabla 3. Valores óptimos de la instalación fotovoltaica. Fuente: PVGIS y propia.

Datos proporcionados:		Resultados de la simulación	
Latitud/Longitud:	39.391,-0.787	Ángulo de inclinación:	37 °
Horizonte:	Calculado	Ángulo de azimut:	0 °
Base de datos:	PVGIS-SARAH2	Producción anual FV:	896.06 kWh
Tecnología FV:	Silicio cristalino	Irradiación anual:	2056.32 kWh/m ²
FV instalado:	0.565 kWp	Variación interanual:	31.78 kWh
Pérdidas sistema:	14 %	Cambios en la producción debido a:	
		Ángulo de incidencia:	-2.55 %
		Efectos espectrales:	0.6 %
		Temperatura y baja irradiancia:	-8.52 %
		Pérdidas totales:	-22.87 %

Como podemos observar el valor del ángulo óptimo de inclinación de las placas obtenido es 37° y el ángulo de azimut es de 0°, es decir, orientación norte-sur. Como la instalación fotovoltaica se va a disponer en el hemisferio norte, las placas deberán orientarse dirección sur.

A continuación, se muestran los valores de irradiación solar obtenidos por mes:



Figura 11. Irradiación mensual sobre plano fijo. Fuente: PVGIS y propia.

Destaca en los valores obtenidos que el valor máximo es de 213,48 kWh/m² en el mes de Julio y el valor mínimo es de 134,21 kWh/m² en el mes de noviembre. Lo que se diferencia de nuestro modelo de consumo diurno ya que el mes de mayor consumo es en mayo y el de menor es en diciembre.

6.2 Elección módulo fotovoltaico

Para poder escoger el mejor módulo se debe hacer una investigación exhaustiva que nos lleva finalmente a la siguiente tabla donde se comparan las 4 mejores placas encontradas en relación calidad-precio:

Tabla 4. Comparación módulos fotovoltaicos. Fuente: Propia.

	LONGI LR5-66HPH HIMO5	JA SOLAR MONO PERC	JA SOLAR BIFACIAL SILVER FRAME	RISEN MONO TITAN
Máxima potencia (W)	505	545	565	660
Tensión máxima potencia (V)	38,53	41,8	42,55	38,12
Corriente de cortocircuito (A)	13,97	13,93	15,37	18,33
Eficiencia del módulo (%)	21,3	21,1	21,9	21,2
Tensión de circuito abierto (V)	45,7	49,75	50,85	45,75
Dimensiones (mm)	2093 x 1134 x 35	2278 x 1134 x 30	2278 x 1134 x 30	2384 x 1303 x 35
Precio (€)	187,37	191,16	195,25	261,54

Entre estas cuatro placas podemos ver que la diferencia más característica es la potencia y el precio, por lo que lo que para escoger la placa más adecuada se debe comparar para una misma potencia, el precio que costaría cada placa. Para el proyecto se necesita aproximadamente una potencia de la instalación de 265 kW, por lo que se debe dividir la potencia total, entre la energía de los módulos (se detallará en el apartado 5.4 cómo calcularla experimentalmente) y obtenemos el número de placas, después se multiplica por el precio, y obtenemos el coste total de los módulos. El cálculo de la energía de cada módulo se ha hecho de forma aproximada mediante la siguiente expresión:

$$E \text{ módulo} = PPM * HSP * PR \quad (1)$$

Siendo:

-PPM: Potencia de pico máxima. Es la máxima potencia de pico que ofrece cada módulo.

-HSP: Número de horas de sol pico que se producen al año, depende de la latitud y de la longitud. En las coordenadas de la empresa tiene un valor de 2056,22 horas.

-PR: Coeficiente de rendimiento de la instalación, aproximadamente tiene un valor de 0,75%.

En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados:

Tabla 5. Coste módulos fotovoltaicos. Fuente: Propia.

	LONGI LR5-66HPH HIMO5	JA SOLAR MONO PERC	JA SOLAR BIFACIAL SILVER FRAME	RISEN MONO TITAN
Energía módulos (Wh)	778.831,2	832.809,6	871.365,6	1.017.878,4
N.º módulos	383	358	342	293
Coste total (€)	71.762,71	68.435,28	66.775,5	76.631,22
Potencia instalación (W)	193.415	193.320	193.230	193.380

Como observamos, el panel JA SOLAR BIFACIAL SILVER FRAME es el idóneo para nuestra instalación, ya que, para una misma potencia, obtenemos un coste mucho menor frente al resto, llegando a diferencia por 10.000 € de la RISEN MONO TITAN. Se podría valorar escoger la placa JA SOLAR MONO PERC por presentar un precio similar, pero la placa escogida aun teniendo un coste total más barato presenta mejores propiedades, como por ejemplo la eficiencia del módulo, que para la JA SOLAR BIFACIAL es la mayor de todas. Y en total necesitaremos 342 placas.

6.3 Inclinación del módulo

A pesar de que PVGIS marca como ángulo óptimo los 37 grados, para las características de la empresa de mecanizados, este ángulo no es el indicado.

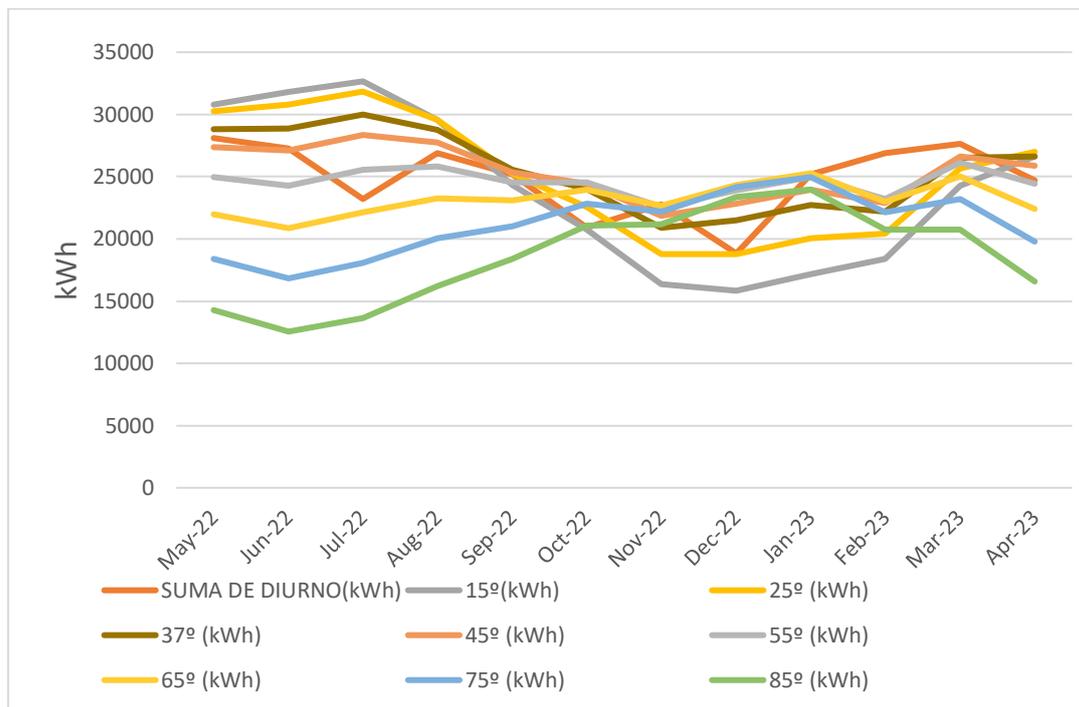


Figura 12. Comparación consumo diario, generación eléctrica para diferentes grados. Fuente: Propia.

En el gráfico podemos observar una comparativa entre la energía que generan los 342 módulos fotovoltaicos para los ángulos desde 15 hasta 85 grados y cómo podemos apreciar los ángulos que más se asemejan a la gráfica son los de 45 y 55 grados. Concretamente, el ángulo de 55 grados es el más semejante ya que de media dista menos que el de 45 grados.

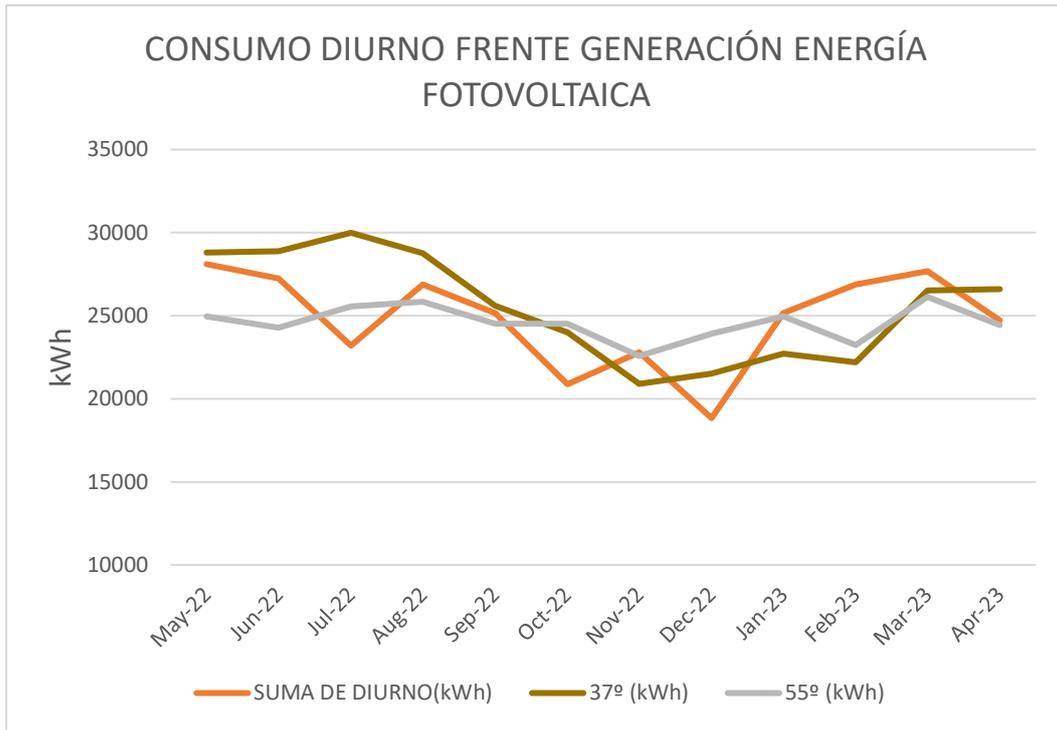


Figura 13. Comparación consumo diario, generación eléctrica para 37 y 55 grados. Fuente: Propia.

Comparando el ángulo óptimo según PVGIS con el ángulo que basado en las gráficas más se asemeja al consumo diario, podemos observar que es mucho más eficiente un ángulo de 55° grados para nuestra instalación.

Tabla 6. Comparación ángulos paneles fotovoltaicos. Fuente: Propia.

	SUMA DE DIURNO (kWh)	37° (kWh)	55° (kWh)
Mayo-22	28.105	28.796	24.966
Junio-22	27.258	28.865	24.282
Julio-22	23.182	29.993	25.547
Agosto-22	26.889	28.762	25.821
Septiembre-22	25.165	25.582	24.521
Octubre-22	20.893	24.008	24.521
Noviembre-22	22.792	20.896	22.572
Diciembre-22	18.834	21.512	23.906
Enero-23	25.177	22.709	24.966
Febrero-23	26.874	22.196	23.222
Marzo-23	27.665	26.539	26.129
Abril-23	24.702	26.608	24.453
TOTAL	297.536	306.466,2	294.906,6

Como podemos apreciar, para el mismo número de placas, el ángulo de 55° es muy similar al consumo diario, siendo en algunos meses inferior pero la resultante es de una diferencia de menos del 1%. Por lo que, como conclusión, tomaremos un ángulo de 55° grados dirección sur para los paneles.

6.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROYECTO

A modo de resumen, se muestran a continuación las características técnicas de las que parte el proyecto:

Tabla 7. Características técnicas del proyecto. Fuente: Propia.

Demanda eléctrica total	420.413 kWh
Demanda eléctrica diurna	297.536 kWh
Porcentaje a cubrir	70,77 %
Factura coste eléctrico año anterior	100.359,49 €
Superficie prevista a utilizar	2.583,10 m ²
Superficie disponible	4.000 m ²
Porcentaje superficie ocupado	64,58 %

7 Diseño de la instalación fotovoltaica

7.1 Elección de la superficie

Para la elección de la superficie elegiremos el criterio de menor distancia al cuadro del CGBT. Este se encuentra rodeado por el círculo rojo, por lo que pondremos las placas en la parte norte del campo, marcado de color amarillo.



Figura 14. Distribución de las placas solares. Fuente: Propia y Google Maps.

7.2 Soporte de las placas solares.

Como ya se ha mencionado anteriormente el soporte de las placas solares debe ser de 55° grados para obtener la producción más eficiente de la energía. Actualmente en el mercado no se encuentran estructuras de hormigón para paneles solares de tanta inclinación, por lo que se debería utilizar una estructura de aluminio. La estructura escogida será un soporte de aluminio para placas, pero el estudio estructural no entra dentro del alcance del proyecto ya que haría falta un proyecto paralelo para la realización del cálculo estructural.

7.3 Distancia entre los módulos fotovoltaicos

Para el cálculo de la distancia entre paneles solares debemos hacer uso de las tablas ofrecidas por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

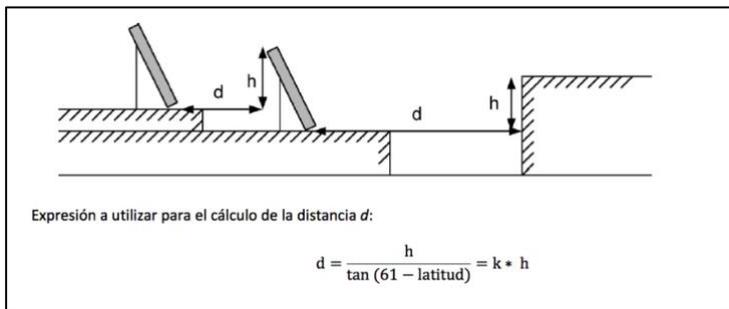


Figura 15. Cálculo distancia entre placas solares. Fuente: IDAE.

Debemos calcular el valor de k, siendo:

$$k = \frac{1}{\tan(61 - \text{latitud})} = \frac{1}{\tan(61 - 39,39)} = 2,52 \quad (2)$$

Y ahora debemos calcular el valor de la distancia mínima entre placas (d), la cual va en función de la orientación de las placas, ya que estas pueden estar dispuestas en vertical o en horizontal.

Tabla 8. Distancia entre paneles fotovoltaicos. Fuente: Propia.

Cálculo de distancia entre placas verticales		Cálculo de distancia entre placas horizontales	
Tamaño placa (mm)	2.278 x 1.134 x 30	Tamaño placa (mm)	2.278 x 1.134 x 30
Longitud (mm)	2.278	Longitud (mm)	1.134
Ángulo (°)	55	Ángulo (°)	55
Altura placa (mm)	1.866,03	Altura placa (mm)	928,92
Base proyectada (mm)	1.336,61	Base proyectada (mm)	680,44
Base proyectada (m)	1,34	Base proyectada (m)	0,68
Terreno proyectado ocupado (mm)	1.337 x 1.134	Terreno proyectado ocupado (mm)	936 x 2.278
Latitud (°)	39,39	Latitud (°)	39,39
Longitud (°)	-0,79	Longitud (°)	-0,79
Valor k	2,52	Valor k	2,52
Distancia entre placas (mm)	4.710,89	Distancia entre placas (mm)	2.345,10
Distancia (m)	4,71	Distancia (m)	2,35

La distancia entre las placas colocadas verticalmente es de 4,71 metros, mientras que la distancia de las placas horizontales es de 2,35 metros. Con los resultados obtenidos, y como se muestra en la siguiente tabla, podemos ver que horizontalmente se podría instalar un mayor número de paneles.

Tabla 9. Cantidad de paneles posibles. Fuente: Propia.

Disposición placas verticales		Disposición placas horizontales	
Cantidad de placas disponible	539	Cantidad de placas disponible	587
Máximo número placas por fila	34	Máximo número placas por fila	17

A pesar de que superficialmente es posible colocar mayor número de placas horizontales, como se explicará posteriormente, se decide instalar las placas de forma vertical, ya que, por la estructura del campo, es de mayor eficiencia su colocación de esta manera.

7.3.1 Número de módulos a escoger

Anteriormente se ha mencionado el número de módulos necesario para cubrir la energía demanda de la instalación. Para poder calcularlo, primero se debe calcular la energía generada por cada módulo y el cálculo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10. Energía producida por módulo. Fuente: PVGIS.

	55° (kWh)
Mayo-22	73
Junio-22	71,1
Julio-22	74,7
Agosto-22	75,5
Septiembre-22	71,7
Octubre-22	71,7
Noviembre-22	66
Diciembre-22	69,9
Enero-23	73
Febrero-23	67,9
Marzo-23	76,4
Abril-23	71,5
TOTAL	862,4

Por tanto, para el cálculo del número de módulos debemos aplicar la siguiente expresión:

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Energía diurna demandada}}{\text{Energía generada por módulo}} = \frac{297536 \text{ kWh}}{862,4 \text{ kWh}} = 345 \quad (3)$$

El número mínimo de módulos que se debe poner para cubrir la producción diurna debe ser 345 módulos, aunque por seguridad y producción en caso de que haya algún fallo

tecnológico, se ha decidido instalar 360 módulos, de manera que se asegura la producción aún con algún posible fallo de uno de los módulos.

7.4 Cálculo y distribución del número de strings

El diseño de la distribución de la planta se realiza mediante un complejo proceso de iteración en el que se debe tener en cuenta el número de placas, el concentrador escogido, inversor, distribución en serie-paralelo, etc. Principalmente se debe elegir: El string, que es el número de módulos en serie que debe haber; El concentrador, que es dispositivo al que se conectarán en paralelo la cantidad de strings que se elija; y el inversor, que es el dispositivo encargado de transformar la corriente continua en corriente eléctrica.

Para poder realizar el diseño de la planta debemos conocer dos características de los paneles, la tensión y corriente de máxima potencia, en nuestro caso son 42,55V y 13,28A respectivamente.

El máximo número de placas en serie debido a los límites del terreno es de 34 paneles. Como las placas necesitan mantenimiento se ha decidido dejar un pasillo en el centro por donde se disponga el cableado y el personal pueda acceder a pie, por lo que se decide colocar los strings de 15 módulos. Como los módulos se encuentran en serie, la tensión se suma mientras que la intensidad se mantiene constante.

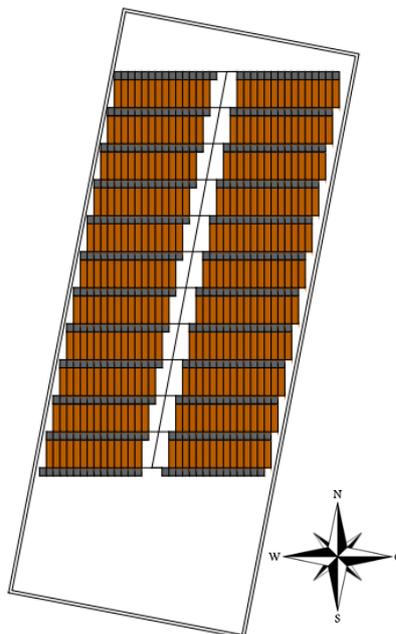


Figura 16. Diseño strings planta solar. Fuente: AutoCAD y propia.

Como se comentaba en el apartado 5.3, la disposición de los paneles se colocará de manera vertical, ya que, en caso de poner los paneles en horizontal, el máximo de paneles es de 17, pero esto daría lugar a tener que distribuir los paneles en mayor número de filas, por lo que la longitud del cableado sería mayor. En nuestro caso, al poner los paneles en fila y los strings de 15 módulos, se colocan paralelos dos a dos, por lo que la longitud del cableado se reduce considerablemente al tener las filas en una posición más cercana a la fábrica.

Con esta disposición, obtenemos los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Valores característicos de cada string. Fuente: propia.

Suma de tensiones (V)	638,25
Corriente en string (I)	13,28

Se necesita un total de 360 placas y debemos tener en cuenta que son 15 módulos por cada string, por lo que finalmente tendremos un total de 24 strings.

7.5 Cálculo y distribución de los concentradores

Para la elección del concentrador se decide que cada 8 strings se debe colocar un concentrador. Por lo tanto, necesitaremos 3 concentradores.

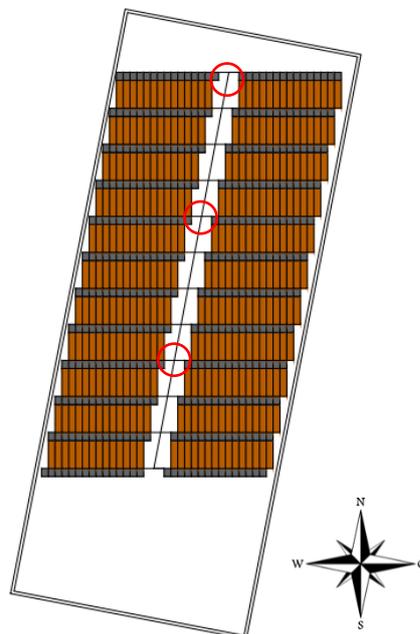


Figura 17. Posición de los concentradores. Fuente: AutoCAD y propia.

Se decide colocar los concentradores lo más próximo a la fábrica y cada 8 strings, de esta manera se reduce considerablemente el número de cables y por tanto el cobre necesario para la instalación.

Al tener los concentradores cada 8 strings, necesitaremos un concentrador que soporte una intensidad de entrada de 13,28 A y una tensión de 638,25 V. Por lo que el concentrador escogido es Connection Unit 1000-US, la solución mejor valorada y con la mejor relación calidad precio.

7.6 Cálculo y distribución de los inversores

En total se necesita un inversor con una potencia de 210kW, pero observando los precios de los inversores de este calibre, se ha decidido escoger 3 inversores de una potencia de 75kW. El inversor escogido es el SUNNY HIGHPOWER PEAK1 y sus características principales se representan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Propiedades del inversor. Fuente: propia.

INVERSOR SUNNY HIGHPOWER PEAK1	
VALORES ENTRADA (DC)	
Potencia recomendada (W)	76.500
Rango de tensión recomendado (V)	570-800
Corriente de entrada máxima (A)	140
Tensión de entrada mínimo (V)	565
Tensión de entrada máximo (V)	1.000
VALORES SALIDA (AC)	
Potencia nominal (W)	75.000
Corriente máxima de salida (A)	108
Tensión nominal (V)	360-530

Por lo que finalmente se tendrá un inversor que deberá soportar los siguientes valores de tensión e intensidad a su entrada, y cada inversor contará con el número de placas indicado a continuación:

Tabla 13. Valores a la entrada del inversor. Fuente: propia.

Tensión (V)	638,25
Corriente (I)	106,24
Número de placas	120

7.7 Comprobación del dimensionado

Una vez ha sido seleccionado tanto concentrador, como inversor, como los string, se debe realizar la comprobación del dimensionado de la planta. Para realizar esta, se debe conocer los valores proporcionados por la AEMET (Agencia Estatal de meteorología) (AEMET, 2023) e indica que las temperaturas máximas y mínimas registradas en el periodo de estudio de la instalación fueron 39,9°C y -5,1°C, respectivamente. Y también será necesario conocer los valores de los coeficientes de temperatura para la máxima potencia y para la máxima tensión, que son -0,3 %/°C y -0,25 %/°C, respectivamente.

Para poder comprobar que las dimensiones de la instalación han sido correctamente diseñadas, se debe realizar 3 comprobaciones, aunque primero debemos realizar unos cálculos auxiliares:

- $Potencia\ máx = PPM * (1 - Coef.\ max.\ pot * (Tmin - 25))$ (4)

$$Pmáx = 565 * (1 + 0,3 * (-5,1 - 25)) = 616,02\ W$$

- Tensión máx = $VPM * (1 - \text{Coef. max. ten} * (T_{\min} - 25))$ (5)

$$V_{\max} = 42,55 * (1 + 0,25 * (-5,1 - 25)) = 45,88 \text{ V}$$

- Tensión mín = $VPM * (1 - \text{Coef. max. ten} * (T_{\max} - 25))$ (6)

$$V_{\min} = 42,55 * (1 + 0,25 * (39,9 - 25)) = 40,9 \text{ V}$$

Una vez realizado el cálculo de los valores auxiliares, podemos realizar la comprobación del diseño de la instalación:

-Número máximo de paneles que soporta el inversor para máxima potencia:

$$\text{Número máx inv} = \frac{\text{Potencia del inversor}}{P_{\max}} = \frac{76500}{616,02} = 124 \quad (7)$$

-Número máximo de paneles por string:

$$\text{Número máx string} = \frac{\text{Tensión máx del inversor}}{V_{\max}} = \frac{1000}{45,88} = 21 \quad (8)$$

-Número mínimo de paneles por string:

$$\text{Número mín string} = \frac{\text{Tensión mín del inversor}}{V_{\min}} = \frac{565}{40,9} = 14 \quad (9)$$

Como podemos ver, el resultado de la comprobación es el correcto, ya que la instalación está diseñada para 120 placas y el máximo sería de 124, y está diseñada para strings de 15 y el mínimo es 14.

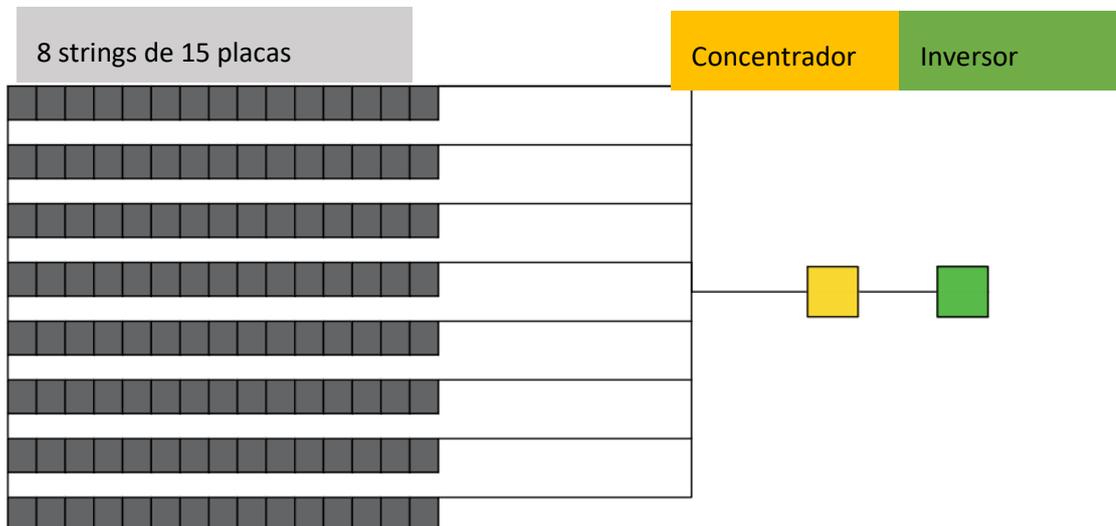


Figura 18. Esquema planta solar. Fuente: AutoCAD y propia.

En la Figura 18 podemos observar un esquema de la instalación de la planta, contando únicamente con un solo inversor. Para nuestra planta este esquema se debe replicar dos veces más, ya que, como se ha mencionado antes, la planta va a contar con 3 concentradores y con 3 inversores.

Con este diseño de la instalación observamos en el gráfico que es necesario continuar conectado a red para el consumo eléctrico durante las horas nocturnas y también para cubrir aquellos meses en los que el consumo diurno está por encima de la producción, pero como más tarde veremos, el coste de la factura se reduce drásticamente. Como se puede apreciar en la figura 19, el color naranja representa la suma del consumo diurno, muy parecido a la energía que se va a generar con el diseño de la instalación, y en la gráfica se encuentra de color gris, y finalmente el color azul que representa el consumo activo (A.I)

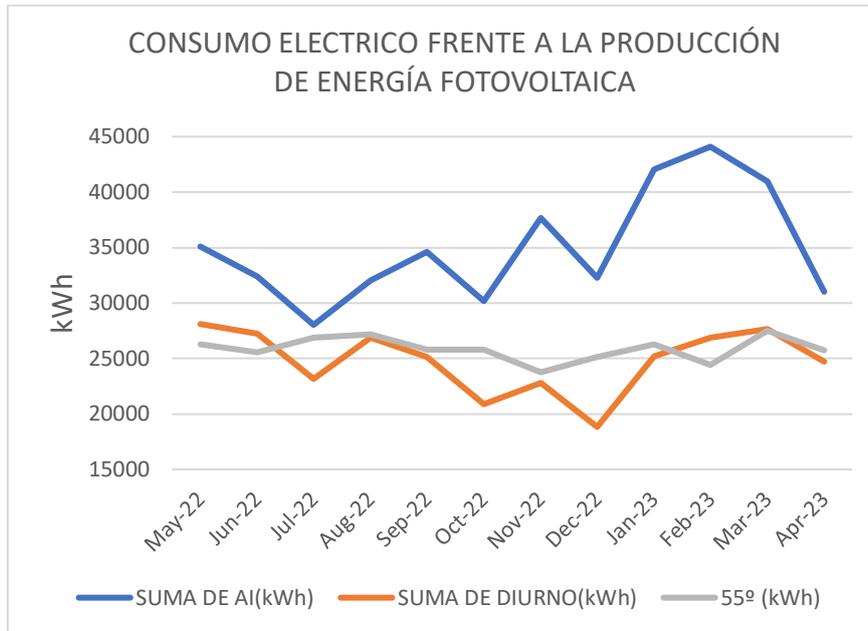


Figura 19. Comparación consumo y producción. Fuente: Propia.

8 Diseño de la instalación eléctrica

Una vez dimensionada la instalación fotovoltaica, se debe realizar el diseño de la instalación eléctrica. Para poder realizar el cálculo eléctrico, debemos tener en cuenta varios criterios. Se deberá elegir entre posicionar los inversores más cerca del centro de transformación, o más cerca de los concentradores, y también se deberá tener en cuenta tanto el criterio térmico como el criterio de caída de tensión.

8.1 Dimensionado del cableado

Para el dimensionado del cableado se escogerá el cableado de menor sección que cumpla tanto con el criterio térmico como el de caída de tensión. Además, la instalación se divide en dos sectores, el sector de corriente continua y el sector de corriente alterna.

Los cables se dividen en diferentes tramos, el primer tramo es desde los string hasta los concentradores, el segundo es desde los concentradores hasta el inversor, después desde el inversor hasta el CGBT. En todos los tramos los cables se dispondrán sobre el terreno en bandejas perforadas, ya que el diseño de la planta se ha elaborado de manera que no exista la necesidad de acceso con ningún tipo de vehículo por encima del cableado.

El cable será de cobre ya que es el material que presenta mejores propiedades para este tipo de instalación. En los tramos de corriente continua de sección igual o inferior a 35 mm² el cable será multipolar, y en aquellas secciones mayores de 35 mm² o en los tramos de corriente alterna, el cable será unipolar.

8.1.1 Criterio térmico

Para la elección del cableado en función del criterio térmico se debe diseñar siguiendo el criterio de la Norma UNE-HD 60364-5-52:2022, la cual habla sobre Instalaciones de baja tensión. Parte 5-52: Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones.

Se debe calcular la intensidad admisible con las tablas de la Norma UNE y posteriormente seleccionar la sección de cable que va asociada a cada intensidad. Para el cálculo debemos seguir la siguiente fórmula:

$$I_Z = I_{\text{Tabla C52.1}} * K_t * K_a \quad (10)$$

Siendo:

- $I_{\text{Tabla C52.1}}$: Intensidad admisible para cables no enterrados de la tabla para una temperatura ambiente de 30°C y con un método de referencia tipo E para cables multipolar, y tipo F para cable unipolar, teniendo en toda la instalación bandejas perforadas.
- K_t : Factor de corrección para temperaturas ambiente distintas de 30°C. Se considera una temperatura ambiente de 40°C y se obtiene de la tabla B.52.14.
- K_a : Factor de reducción por agrupamiento para varios circuitos o cable multipolar. Este factor cambiará en función del tramo que se diseñe. Se obtiene de la tabla B52.17.

8.1.2 Criterio caída de tensión

Según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión: “La caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión de la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5%, para la intensidad nominal” (Boletín Oficial del Estado, 2002). Con el objetivo de limitar la caída de tensión total de la planta, se establecerán los siguientes límites para cada tramo:

Tabla 14. Caída de tensión máxima de cada tramo. Fuente: propia.

Inversor cerca del centro de transformación	
Tramo	Caída de tensión máx (ε) en %
String a Concentrador	0,25
Concentrador a Inversor	0,55
Inversor al CGBT	0,05
Total	1,4

Se dispone de dos posibles posiciones para los inversores: cerca de los concentradores o cerca del CGBT. Desde cada concentrador se dispone un solo cable que alcanza cada inversor, esto significa que en caso de escoger cualquiera de las dos posiciones obtendríamos el mismo resultado ya que, en caso de haber escogido los inversores más cercanos a los concentradores, habría que reajustar las caídas de tensión máximas y por tanto se obtendría las mismas secciones, pero con distribuciones diferentes. Por lo que se elige colocar los inversores más cercanos al CGBT para poder protegerlos dentro del recinto del CGBT y no dejarlos al aire libre, que es como se encontrarían en caso de estar cercanos a los concentradores.

Por tanto, para el cálculo de la sección mínima para líneas trifásicas deberemos seguir la siguiente expresión:

$$\text{Sección mín} = 100 * \frac{L * P * \rho}{\epsilon * V_n^2} \quad (11)$$

Siendo:

- L: Longitud del cableado en metros.
- P: Potencia máxima que debe soportar el cable en vatios.
- ρ: Representa la resistividad del material, como utilizaremos cables de cobre a una temperatura de 60°C, este valor será 0,1995 Ωmm²/m.
- ε: Caída de tensión máxima impuesta por nosotros para el diseño.
- V_n: Tensión nominal que debe soportar el cableado en voltios.

Y para el cálculo de la sección mínima para líneas monofásicas deberemos seguir la siguiente expresión:

$$\text{Sección mín} = 200 * \frac{L * P * \rho}{\epsilon * V_f^2} \quad (12)$$

Siendo:

-L: Longitud del cableado en metros.

-P: Potencia máxima que debe soportar el cable en vatios.

-ρ: Representa la resistividad del material, como utilizaremos cables de cobre a una temperatura de 60°C, este valor será 0,1995 Ωmm²/m.

-ε: Caída de tensión máxima impuesta por nosotros para el diseño.

-V_f: Tensión de fase que debe soportar el cableado en voltios.

8.2 Comparativa de criterios y selección del cableado

Se muestra a continuación una tabla comparativa de la sección obtenida con ambos criterios para cada tramo.

Tabla 15. Sección escogida tramo concentrador 1. Fuente: propia.

CONCENTRADOR 1					
Tramo	Sección criterio térmico (mm ²)	Sección criterio caída de tensión (mm ²)	Sección de mayor tamaño (mm ²)	Longitud (m)	Volumen del cable (cm ³)
String 1 a Concentrador 1	1,5	1,50	1,50	1,7	2,55
String 2 a Concentrador 1	1,5	1,5	1,50	1,7	2,55
String 3 a Concentrador 1	1,5	4	4,00	7,86	31,44
String 4 a Concentrador 1	1,5	4	4,00	7,86	31,44
String 5 a Concentrador 1	1,5	6	6,00	14,02	84,12
String 6 a Concentrador 1	1,5	6	6,00	14,02	84,12
String 7 a Concentrador 1	1,5	10	10,00	20,18	201,80
String 8 a Concentrador 1	1,5	10	10,00	20,18	201,80

Tabla 16. Sección escogida tramo concentrador 2. Fuente: propia.

CONCENTRADOR 2					
Tramo	Sección criterio térmico (mm ²)	Sección criterio caída de tensión (mm ²)	Sección de mayor tamaño (mm ²)	Longitud (m)	Volumen del cable (cm ³)
String 1 a Concentrador 2	1,50	10,00	10,00	26,34	263,40
String 2 a Concentrador 2	1,50	10,00	10,00	26,34	263,40
String 3 a Concentrador 2	1,50	16,00	16,00	32,50	520,00
String 4 a Concentrador 2	1,50	16,00	16,00	32,50	520,00
String 5 a Concentrador 2	1,50	16,00	16,00	38,66	618,56
String 6 a Concentrador 2	1,50	16,00	16,00	38,66	618,56
String 7 a Concentrador 1	1,50	16,00	16,00	44,82	717,12
String 8 a Concentrador 1	1,50	16,00	16,00	44,82	717,12

Tabla 17. Sección escogida tramo concentrador 3. Fuente: propia.

CONCENTRADOR 3					
Tramo	Sección criterio térmico (mm ²)	Sección criterio caída de tensión (mm ²)	Sección de mayor tamaño (mm ²)	Longitud (m)	Volumen del cable (cm ³)
String 1 a Concentrador 3	1,50	25,00	25,00	50,98	1.274,50
String 2 a Concentrador 3	1,50	25,00	25,00	50,98	1.274,50
String 3 a Concentrador 3	1,50	25,00	25,00	57,14	1.428,50
String 4 a Concentrador 3	1,50	25,00	25,00	57,14	1.428,50
String 5 a Concentrador 3	1,50	25,00	25,00	63,30	1.582,50
String 6 a Concentrador 3	1,50	25,00	25,00	63,30	1.582,50
String 7 a Concentrador 3	1,50	25,00	25,00	69,46	1.736,50
String 8 a Concentrador 3	1,50	25,00	25,00	69,46	1.736,50

Tabla 18. Sección escogida tramo inversores. Fuente: propia.

CONCENTRADOR a INVERSOR					
Tramo	Sección criterio térmico (mm ²)	Sección criterio caída de tensión (mm ²)	Sección de mayor tamaño (mm ²)	Longitud (m)	Volumen del cable (cm ³)
Concentrador a Inversor 1	25	120,00	120,00	85	10.200,00
Concentrador a Inversor 2	35	120	120,00	85	10.200,00
Concentrador a Inversor 3	35	120	120,00	85	10.200,00

Tabla 19. Sección escogida tramo CGBT. Fuente: propia.

INVERSOR a CGBT					
Tramo	Sección criterio térmico (mm ²)	Sección criterio caída de tensión (mm ²)	Sección de mayor tamaño (mm ²)	Longitud (m)	Volumen del cable (cm ³)
Inversor 1 a CGBT	25	16,00	25,00	1,2	30,00
Inversor 2 a CGBT	25	16	25,00	1,2	30,00
Inversor 3 a CGBT	25	16	25,00	1,2	30,00

8.3 Recorrido del cableado

A continuación, se muestra las cantidades totales de cableado que se necesitan para la construcción completa de la instalación:

Tabla 20. Volumen de cable necesario. Fuente: propia.

Sección (mm ²)	Longitud total (m)	Precio cable (€/m)	Coste (€)
1,5	3,40	0,35	1,19
4	15,72	0,74	11,63
6	28,04	1,07	30,00
10	93,04	1,74	161,89
16	231,96	2,67	619,33
25	485,36	4,06	1970,56
120	255,00	19,28	4916,40

Como se había mencionado anteriormente, el recorrido de los cables se divide en diferentes tramos, el primer tramo transcurre desde cada String hasta los concentradores, todo este recorrido se distribuirá a través de un camino situado en medio del campo de placas, atravesará longitudinalmente el campo por el centro, dividiendo la instalación de manera simétrica. En este

tramo, los cables se disponen sobre bandejas perforadas, llegando a coincidir un total de 10 cables en el tramo más cercano a la fábrica, ya que se tiene los 8 cables que llegan al concentrador 1, más los dos cables que llegan desde los concentradores 2 y 3.

En el siguiente tramo, definido desde la salida de cada concentrador hasta los inversores, los cuales se encuentran cercanos al CGBT. Estos irán también sobre bandeja perforada, ya que esa zona de la fábrica no dispone de acceso a vehículos y por tanto no es necesario enterrarlos bajo tierra. Tanto en la salida del tercer concentrador, como en la salida del segundo, hasta el primer concentrador, llegan a coincidir 9 cables, y en lo posterior al recorrido, únicamente coincidirán 3 cables.

Para el tramo posterior, que es desde los inversores hasta CGBT, de nuevo, será sobre bandeja perforada, y máximo coincidirán 3 cables.

8.4 Componentes eléctricos

El cálculo de nuestra instalación fotovoltaica se va a realizar en dos etapas clave del proceso de generación de energía. Inicialmente, la corriente generada por las placas solares se encuentra en forma de corriente continua (CC). Esta corriente CC fluye desde las placas solares a través de los conductores hasta llegar a los concentradores y posteriormente a los inversores, donde se convierte en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad utilizada en la mayoría de las aplicaciones eléctricas convencionales. Sin embargo, en nuestro caso, es importante destacar que se llevará a cabo un cálculo detallado únicamente desde los inversores hasta el CGBT

8.5 Protecciones

Las protecciones en una instalación fotovoltaica son dispositivos esenciales diseñados para garantizar la seguridad de la instalación, prevenir daños en el equipo y optimizar el rendimiento. Destaca por su importancia y funciones los siguientes puntos:

- **Seguridad del Personal:** Las protecciones ayudan a prevenir accidentes eléctricos al cortar la energía en caso de un fallo o un cortocircuito en la instalación. Esto protege a las personas que trabajan en la instalación de posibles descargas eléctricas y lesiones.
- **Protección del Equipo:** Ayudan a evitar daños a los componentes de la instalación, como los paneles solares, inversores y cables, al desconectar automáticamente la energía en situaciones de sobrecarga o sobretensión.
- **Optimización del Rendimiento:** Las protecciones también pueden contribuir a optimizar el rendimiento de la instalación al garantizar que funcione dentro de los parámetros adecuados. Por ejemplo, los dispositivos de protección contra sobretensiones pueden proteger contra picos de tensión que podrían dañar los equipos sensibles.
- **Cumplimiento Normativo:** En muchas regiones, las instalaciones fotovoltaicas deben cumplir con regulaciones específicas de seguridad eléctrica. La inclusión de protecciones adecuadas es fundamental para cumplir con estos estándares.
- **Detección y Localización de Fallos:** Algunas protecciones están diseñadas para detectar y localizar fallos en la instalación, lo que facilita la identificación y resolución de problemas.

Algunos ejemplos de dispositivos de protección comunes en una instalación fotovoltaica incluyen:

- **Interruptores de circuito o fusibles:** Protegen contra sobrecargas y cortocircuitos.

- **Dispositivos de protección contra sobretensiones:** Evitan daños causados por sobretensiones en la red eléctrica.
- **Interruptores de desconexión de CC:** Permiten desconectar la energía de los paneles solares para el mantenimiento y la seguridad.
- **Interruptores de desconexión de CA:** Controlan la energía que ingresa o sale de la red eléctrica.
- **Dispositivos de protección de tierra:** Evitan corrientes de fuga peligrosas.

En resumen, las protecciones en una instalación fotovoltaica son fundamentales para garantizar la seguridad de las personas, proteger el equipo, cumplir con regulaciones y optimizar el rendimiento de la instalación. Su inclusión y mantenimiento adecuados son esenciales para una operación segura y eficiente.

Una sobrecarga se produce cuando existe un exceso de consumo eléctrico, el cual provoca que la intensidad de la corriente que atraviesa un circuito eléctrico sea mayor que la intensidad máxima que soporta un circuito. Y un cortocircuito es una falla eléctrica, un defecto en el aislamiento o en la conductividad en el sistema que, se produce cuando dos conductores de distinta polaridad o fase entran en contacto físico entre sí, habiendo perdido la cobertura aislante entre ellos.

Por lo tanto, se deberá realizar el cálculo para la protección de los sistemas frente a sobrecargas y cortocircuitos.

8.5.1 Protecciones Corriente Continua (CC)

Además de los dispositivos de protección con los que cuentan los propios equipos, se deciden colocar fusibles en cada línea de strings. Se colocarán dos fusibles por string, ya que se debe colocar uno para el positivo y otro para el negativo. Como en total contamos con 24 líneas de string, será necesario instalar un total de 48 fusibles. Por simplicidad, se decide colocar el mismo fusible para todas las líneas y se escogerá en base al cumplimiento de las siguientes condiciones:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (13)$$

Siendo:

- I_B : Intensidad de diseño de cada string.

- I_N : Intensidad del fusible

- I_Z : Intensidad admisible por el circuito, que se tomará dos veces el valor de I_B

$$I_2 \leq 1,45 * I_Z \quad (14)$$

Siendo:

- I_2 : Intensidad convencional admisible para los dispositivos de protección. En caso de ser para fusibles es $I_2=1,6*I_N$ y para interruptores automáticos es $I_2=1,45*I_N$

$$(I^2t)_{protección} \leq (I^2t)_{adm} \quad (15)$$

Siendo:

$$I_{prot} = (\text{Número strings} - 1) * I_B \quad (16)$$

$$(I^2t)_{adm} = (KS)^2 \quad (17)$$

Siendo:

- t: tiempo obtenido en la gráfica
- K: Valor constante teórico con K=143 si la protección es de XLPE y K=115 si es de PVC, para cables de cobre. Y para cables de aluminio K=94 si la protección es de XLPE y K=74 si es de PVC.
- S: Sección de mayor tamaño de los conductores ya que vamos a escoger el mismo fusible para todos los cables. Por lo que el valor de S será igual a 120.

A continuación, mostramos la curva de características Tiempo-Corriente del fusible escogido, que es un fusible 16A 1.000VDC 10x38 del fabricante Autosolar:

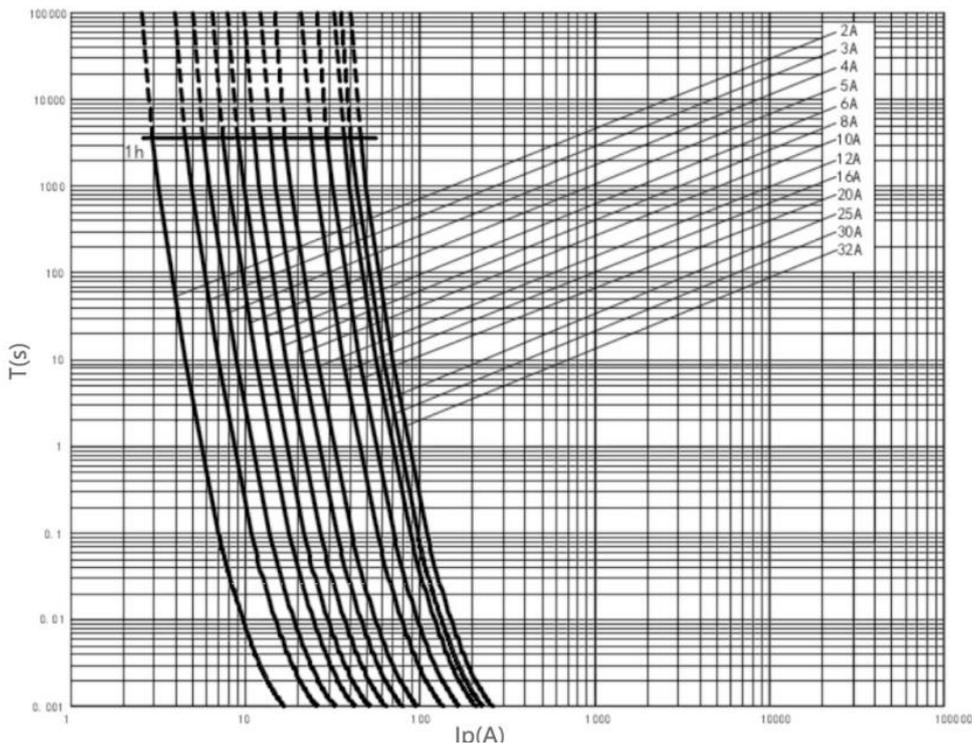


Figura 21. Curva características Tiempo-Corriente. Fuente: Autosolar.

Por lo tanto, con las ecuaciones mostradas y la gráfica, se logran los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 21. Volumen de cable necesario. Fuente: propia.

CORRIENTE CONTÍNUA		
$I_B \leq I_n \leq I_z$		
I_b	Intensidad diseño de un string (A)	13,28
I_z	Intensidad admisible (A)	26,56
$13,28 \text{ A} \leq 16 \text{ A} \leq 26,56 \text{ A}$		
$I_2 \leq 1,45 * I_z$		
I_2	Intensidad convencional de funcionamiento del dispositivo de protección (a)	23,2
I_n	Intensidad admisible (A)	16
$23,2 \text{ A} \leq 1,45 * 26,56 = 28,51 \text{ A}$		
$(I^2t)_{\text{protección}} \leq (I^2t)_{\text{adm}}$		
I_b	Intensidad diseño de un string (A)	13,28
I_{prot}	Intensidad protección (A)	92,96
t	tiempo gráfica (s)	0,001
$(I^2t)_{\text{protección}}$	protección	8,64
$(I^2t)_{\text{admitida}}$	admitida	2,94E+08
$8,64 \leq 2,94E+08$		

Como podemos observar, el fusible de 16A escogido es idóneo para nuestra instalación, ya que cumple con todas las condiciones impuestas. En total y como ya se ha mencionado anteriormente, serán necesarios 48 fusibles de este modelo.

8.5.2 Protecciones Corriente Alterna (AC)

Para el diseño del circuito de la corriente alterna, es decir el tramo entre los inversores y el CGBT, se va a instalar un relé diferencial y un interruptor automático.

Un interruptor automático es un dispositivo eléctrico diseñado para proteger una instalación eléctrica al desconectar la corriente eléctrica cuando se detecta una sobrecarga o un cortocircuito en el circuito. Es una parte esencial de la seguridad eléctrica en hogares, edificios y sistemas industriales. El interruptor automático funciona de manera automática sin necesidad de intervención humana cuando se presenta una condición anormal en el flujo de corriente eléctrica.

El cálculo necesario para la elección del I.A se diferencia de la parte de corriente alterna en que es necesario el cálculo de la intensidad de cortocircuito:

$$I_{ccmax} = \frac{\text{Potencia del transformador}}{\sqrt{3} * \text{Voltaje} * \epsilon_{cc}} = \frac{500.000}{\sqrt{3} * 400 * 0,04} = 18kA \quad (18)$$

Como se observa, la fábrica cuenta con un transformador con una potencia muy superior a la potencia de la instalación fotovoltaica prevista. Además, el CGBT y el transformador se

encuentran a una distancia muy cercana, por lo que los cálculos se pueden simplificar a la fórmula mostrada anteriormente (ecuación 18).

Para el diseño de la instalación, el interruptor automático escogido es el interruptor automático "Compact NSXm 125A 4P 25kA a 380/415V(IEC) Borne EverLink ref. LV426228 Schneider Electric", podemos desglosar su información de la siguiente manera:

- **NSXm:** Esta es la designación del modelo o tipo de interruptor automático. Indica el modelo específico dentro de una serie o gama de interruptores.
- **4P:** El número "4P" se refiere al número de polos del interruptor.
- **125A:** Este valor representa la corriente nominal máxima que el interruptor puede manejar de manera continua sin desconectarse. Lo cual cumple con nuestra instalación ya que la intensidad nominal es de 109 A.
- **25kA:** Este valor representa la capacidad de ruptura del interruptor, es decir, la cantidad máxima de corriente que el interruptor puede interrumpir de manera segura en caso de un cortocircuito. En este caso, es de 25kA. Lo cual cumple ya que el poder de corte calculado para nuestra instalación es de 18 kA.
- **380/415V:** Indica la tensión nominal máxima para la que está diseñado el interruptor. Para nuestra instalación, el voltaje nominal diseñado para esta línea es de 400V.

MINIATURE CI ref. A9: Estas son especificaciones adicionales que pueden indicar el tipo y modelo específico del interruptor, así como su referencia.

En resumen, el interruptor automático "Compact NSXm 125A 4P 25kA a 380/415V(IEC) Borne EverLink ref. LV426228 Schneider Electric 9 es un dispositivo eléctrico que se utiliza para proteger una instalación eléctrica al desconectar automáticamente la corriente en caso de sobrecarga o cortocircuito. Sus especificaciones incluyen el número de polos, la corriente nominal, la característica de disparo, la capacidad de ruptura y la tensión nominal. Estos detalles son esenciales para asegurar un funcionamiento seguro y eficiente en una instalación eléctrica.

Una vez escogido el interruptor automático, se debe escoger el relé. Un relé diferencial es un dispositivo de protección eléctrica utilizado para monitorear la corriente eléctrica que entra y sale de un circuito eléctrico. Su función principal es detectar cualquier diferencia entre la corriente de entrada y la corriente de salida. Si detecta una discrepancia significativa entre estas corrientes, lo que podría indicar una fuga de corriente a tierra, el relé diferencial se activa y desconecta el circuito eléctrico de manera automática y rápida.

El relé diferencial es especialmente importante en aplicaciones donde la seguridad eléctrica es fundamental, como en instalaciones eléctricas de edificios y sistemas industriales. Su capacidad para detectar corrientes de fuga a tierra evita accidentes eléctricos, protege equipos y, en última instancia, salva vidas.

El diferencial escogido que mejor cumple con las condiciones de nuestra instalación es el diferencial con automático incorporado 4P 125A 30MA.

Un Diferencial con Automático Incorporado es un relé diferencial que no solo detecta las corrientes de fuga a tierra, sino que también tiene la función de un interruptor automático incorporado. Esto permite que el dispositivo no solo detecte la fuga de corriente, sino que también desconecte el circuito automáticamente en caso de detección de una fuga peligrosa.

Finalmente, en el esquema unifilar de la siguiente figura se muestra como es el diseño de la instalación:

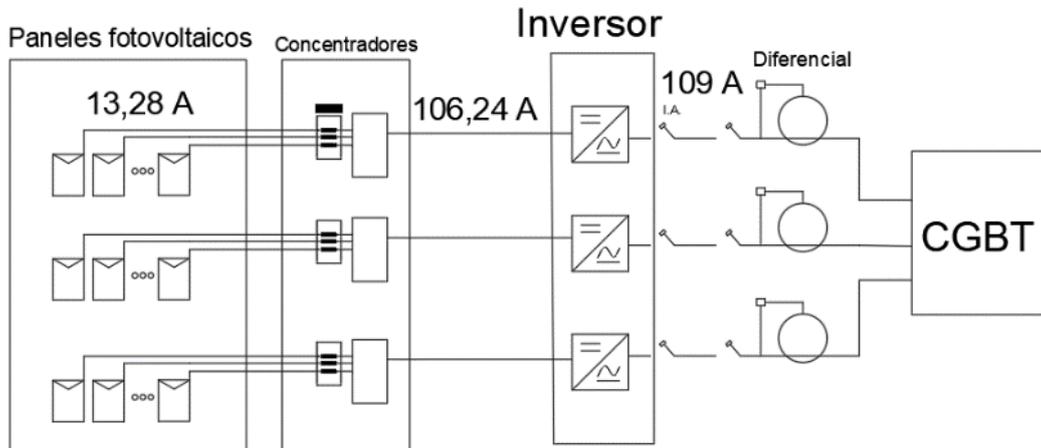


Figura 22. Diseño strings planta solar. Fuente: AutoCAD y propia.

8.6 Protección de puesta a tierra

La puesta a tierra, conexión a tierra o toma de tierra es la conexión de las superficies conductoras expuestas a algún punto no energizado; comúnmente es la tierra sobre la que se posa la construcción, de allí el nombre, en nuestro caso, el campo fotovoltaico. Al sistema de uno o varios electrodos que proveen la conexión a tierra se le llama «toma de tierra». Las puestas a tierra se emplean en las instalaciones eléctricas como una medida de seguridad. Dependiendo del sistema, el fallo puede provocar que se desconecte el suministro mediante un interruptor diferencial o un dispositivo monitor del aislamiento.

Para el diseño de la puesta a tierra de nuestra instalación se va a optar por la colocación de un sistema de electrodos de picas verticales que serán enterradas a una profundidad de 0,5 metros. Estas picas cuyo diámetro será de 14 mm² de acero recubierto de cobre se posicionarán junto a cada concentrador, y para mayor seguridad se instalarán 3 picas cuya longitud será el objetivo para averiguar en los siguientes cálculos.

Cabe mencionar que solamente es necesario el diseño de la instalación en el tramo de continua puesto que el CGBT de la fábrica ya cuenta con un diseño de puesta a tierra, y al haber sido necesario modificar dicho cableado, no es de objetivo cumplimiento un rediseño.

En el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e ITC (R.E.B.T), se regula la normativa para el diseño de la instalación de la puesta a tierra. De él, obtenemos que el voltaje de diseño máximo de nuestra instalación es de 24 Voltios, ya que es una instalación generadora a la intemperie y que para el tipo de material del que está hecho principalmente el terreno anexo al taller, la resistividad tiene un valor de 250 Ωm, puesto que nuestro terreno es principalmente de arenas arcillosas.

Para el cálculo de la resistencia que proporcionan las picas necesitamos la siguiente expresión:

$$Resistencia = \frac{\text{resistividad del terreno}}{\text{Número de picas} \cdot \text{Longitud}} \quad (19)$$

Suponiendo una longitud para las picas de metro y medio, y sabiendo que el número de picas total es de 9, ya que es tres picas por cada concentrador que son 3, obtenemos una resistencia de:

$$Resistencia = \frac{250}{9 \cdot 1,5} = 18,52 \Omega$$

Y para comprobar que la tensión máxima queda por debajo de los límites establecidos, suponiendo una intensidad de actuación de 300mA:

$$Tensión\ máxima = Resistencia \cdot Intensidad\ actuación \quad (20)$$

$$Tensión\ máxima = 18,52 \cdot 0,3 = 5,56\ V$$

Por lo que se cumple ya que $5,56\ V < 24\ V$ que es la tensión máxima establecida por el REBT.

Una vez diseñadas las picas, se debe realizar el diseño del cableado de la instalación de protección de puesta a tierra. Los electrodos se deben conectar a cada uno de los equipos que se desee proteger, empleando conductores de tierra. Tendremos el borne de tierra, que es una regleta situada en un punto accesible de la instalación para conectar el conductor de tierra con los conductores de protección y los de equipotencialidad principal. Y los conductores de protección que son los conductores que unen las masas con los elementos de la instalación para proteger frente a contactos indirectos. Para especificar, los conductores de protección son aquellos que conectan los strings con el borne principal de tierra de sus correspondientes concentradores, y los que unen los inversores con los puntos de puesta a tierra que se sitúan entre concentradores

Para el cálculo de la sección de los conductores de protección utilizaremos la siguiente tabla:

Tabla 22. Sección mínima conductores de protección para la puesta a tierra. Fuente: REBT.

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S _p (mm ²)
S ≤ 16	S _p = S
16 < S ≤ 35	S _p = 16
S > 35	S _p = S/2

Los resultados quedan recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 23. Sección calculada conductores de protección. Fuente: Propia.

Sección del cable (mm ²)	Sección del conductor de protección (mm ²)	Sección normalizada (mm ²)
1,5	1,5	1,5
4	4	4
6	6	6
10	10	10
16	16	16
25	16	16
120	60	70

Por tanto, necesitaremos finalmente las siguientes cantidades de cable de protección:

Tabla 24. Cantidad cable de protección. Fuente: Propia.

Sección del cable de protección (mm ²)	Longitud de cable necesaria (m)
1,5	3,4
4	15,72
6	28,04
10	93,04
16	717,32
70	255

Mientras que para el cálculo de la sección del conductor de puesta a tierra deberemos atender a la siguiente tabla:

Tabla 25. Sección conductor puesta a tierra. Fuente: REBT.

Tipo	Protegido mecánicamente	No protegido mecánicamente
Protegido contra la corrosión*	Según apartado 3.4	16 mm ² Cobre 16 mm ² Acero Galvanizado
No protegido contra la corrosión		25 mm ² Cobre 50 mm ² Hierro
* La protección contra la corrosión puede obtenerse mediante una envolvente		

Como nos encontramos con que nuestro cableado no se encuentra protegido frente a la corrosión, deberemos escoger entre cobre o hierro, y por facilidad de compra, escogeremos la sección de 25 mm² de cable de cobre. Y necesitaremos la cantidad de cable mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 26. Cantidad cable de cobre necesaria. Fuente: Propia.

Sección del cable de tierra (mm ²)	Longitud de cable necesaria (m)
25	36

8.7 Sistema anti vertido

Como establece el Real Decreto 244/2019, el tipo de modalidad que hemos escogido para el diseño de nuestra instalación es de autoconsumo sin excedentes, por lo que será necesaria la implementación de un sistema antivertido de manera que nos aseguremos que no exista la posibilidad de que nuestro sistema tenga un exceso de energía generada.

Los **sistemas de inyección cero o antivertido** miden la producción solar y el consumo eléctrico de una instalación en tiempo real, vigilando que, en el caso de que la producción solar supere al consumo, el sistema antivertido disminuya automáticamente la producción solar para evitar la generación de kW excedentarios que se verterían en la red eléctrica.

El funcionamiento de un sistema de antivertido fotovoltaico viene establecido en el Anexo I «Sistemas para evitar el vertido de energía a la red» del Real Decreto 244/2019 por el que se regula el autoconsumo.

En el citado anexo se especifica que un sistema de antivertido puede funcionar mediante dos mecanismos principales:

- **Mecanismo de corte o de limitación de corriente.** Esta opción hace que se puedan usar sistemas de generación sin capacidad de regulación de energía.
- **Mecanismo de regulación del intercambio de potencia** entre el sistema que produce la electricidad (las placas solares) y el que la consume (la red eléctrica del hogar y los electrodomésticos y dispositivos enchufados a ella). Esto se puede conseguir controlando las cargas, la generación o almacenando la energía. Este segundo método de antivertido es el más interesante y el más habitual.

Si optamos por la opción de autoconsumo fotovoltaico con el mecanismo de regulación, en nuestra instalación antivertido habrá un dispositivo que controle el consumo que hacemos en nuestro hogar. Este dispositivo informará al llamado **controlador dinámico de potencia**, el cual trabaja junto con el inversor de la instalación.

De esta forma, si no consumimos toda la energía que nuestras placas solares generan, el controlador dinámico actuará sobre el inversor y éste disminuirá la energía extraída del sol.

El sistema antivertido más común trata, por lo tanto, de **equilibrar durante todo el tiempo la producción de manera que se adapte al consumo**. Así no se generan excedentes de energía.

Sin embargo, este mecanismo no se usa exclusivamente en instalaciones de autoconsumo domésticas. De hecho, **el sistema de antivertido fotovoltaico más grande de Europa está en España en la provincia de Badajoz**, con una potencia instalada de 8 MWp.

En esta gran planta de generación se usa el mismo sistema de antivertido que reduce su potencia de salida de modo sincronizado con el consumo del cliente.

9 Presupuesto técnico

En el apartado siguiente se muestra el coste total de la instalación. Para ello, se debe calcular el presupuesto técnico final de todo el proyecto, se dividirá los cálculos en tres secciones:

1. Primera sección: Instalación fotovoltaica.
2. Segunda sección: Instalación eléctrica.
3. Tercera sección: Puesta a tierra.
4. Cuarta sección: Coste universitario

En la tabla siguiente se muestra el presupuesto total obtenido, dividido en los capítulos mencionados, añadiendo gastos generales, beneficio y posteriormente el I.V.A. y por salto el presupuesto final es el siguiente:

Tabla 27. Presupuesto final. Fuente: Propia.

Presupuesto final	Importe (€)
Instalación fotovoltaica	95.071,56
Puesta a tierra	7.256,00
Instalación eléctrica	29.377,03
Coste material	131.704,59
Coste realización TFG	4.350,6
Gastos generales (13%)	17.687,17
Beneficio industrial (6%)	8.163,31
Presupuesto de ejecución por contrata	161.905,67
I.V.A (21%)	34.000,19
Presupuesto final	195.905,86

10 Conclusiones

El TFG se enfoca en el diseño de una instalación fotovoltaica para una empresa en la Comunidad Valenciana, con el objetivo de cubrir sus costos eléctricos durante el día. Se han aplicado los conocimientos adquiridos en el Grado de Ingeniería de Tecnologías Industriales. El proyecto incluye un análisis del recurso solar, diseño técnico y cálculo presupuestario. Además de los beneficios económicos, se busca mejorar la sostenibilidad y cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, contribuyendo al desarrollo sostenible y abordando desafíos globales.

Este proyecto busca transformar por completo la empresa, convirtiéndola en un referente en sostenibilidad ambiental. La empresa busca una transición hacia la sostenibilidad, reduciendo su huella de carbono y mejorando su responsabilidad social corporativa. Este proyecto no solo podría impulsar la economía de la empresa, sino que también contribuirá al cuidado del medio ambiente y a apoyar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, allanando el camino hacia un futuro más verde y sostenible.

La capacidad de cubrir una parte importante del consumo diurno podría suponer un alivio para la carga financiera de la empresa, es decir, los costes fijos de la empresa y la inversión de 200.000€ se podría considerar como un coste amortizable para la empresa. La empresa debería realizar un estudio de viabilidad económica, valorar las condiciones de amortización del proyecto, decidir que parte se financia con capital propio o con aporte externo, analizar todas las subvenciones que se pueden solicitar. Con todo ello, como el objetivo del proyecto es producir en hora punta y consumir en horas valle, esto conllevaría a un ahorro energético.

Posteriormente a este TFG, se debería realizar como primera fase el estudio de viabilidad económica, teniendo en cuenta financiación propia, financiación ajena y las posibles subvenciones que se solicitarían. La segunda fase sería la ejecución del proyecto, es decir, el diseño del proyecto en detalle y la ejecución del proyecto. Y como tercera fase, vista la viabilidad económica y como se tiene un exceso de terreno, se podría valorar la opción de ampliar la instalación fotovoltaica e incluso de vender a red.

Este TFG me ha proporcionado valiosas lecciones sobre cómo abordar proyectos de verdadera complejidad. He aprendido que la planificación exhaustiva y la investigación detallada son fundamentales antes de embarcarse en cualquier iniciativa. La elección de la tecnología adecuada, en este caso, la energía solar fotovoltaica, requiere un profundo análisis de las necesidades y recursos de la empresa. Además, he comprendido los retos eléctricos al diseñar una instalación y de la gestión de presupuestos. También, en este proyecto ha destacado la relevancia de alinear las iniciativas empresariales con los objetivos de desarrollo sostenible, lo que no solo podría beneficiar a la empresa, sino que también contribuiría al bienestar global y ambiental.

Realizar este TFG ha supuesto la realización de mi primer proyecto de ingeniería, en el que he tratado de incluir todos los conocimientos adquiridos en el Grado Ingeniería de Tecnologías Industriales. Por primera vez me he tenido que enfrentar a un problema que no tiene una respuesta única, he tenido que elegir una solución y elaborar un proyecto con ella, razonando el porqué de esa solución escogida. Este primer, pero no último trabajo, ha aumentado más aún mi afán por la ingeniería, y concretamente por la rama eléctrica, la cual muestra un verdadero reto para mí. Por último, concluir con que mi camino a seguir, por seguro, será la rama de las energías renovables, este TFG representa la unión entre la evolución, el desarrollo tecnológico, unido con los objetivos sostenibles y la defensa de nuestro planeta.

11 Bibliografía.

Horario de salida y entrada del sol. Horario salida y entrada del sol. Obtenido de <https://salidaypuestadelsol.com/sun/bu%C3%B1ol>.

Panel solar. Obtenido de <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-longi-lr5-66hph-himo5-505w>.

Panel Ja Solar Mono Perc. Obtenido de <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-545w-ja-solar-mono-perc>.

Panel Bifacial Silver Frame. Obtenido de <https://tienda-solar.es/es/paneles-solares/1470-ja-solar-mono-perc-565w-bifacial-silver-frame>.

Panel Titan 660 Wp. Obtenido de <https://tienda-solar.es/es/paneles-solares/1529-panel-solar-risen-mono-perc-660wp-titan>.

Estructuras solares. Obtenido de <https://solarmat.es/es/estructura-paneles-solares?page=6>.

Estructuras solares. Obtenido de <https://order.nousol.com/es/estructuras-de-aluminio/2692-estructura-inclinada-40o55o-8-paneles-500wp570wp-posicion-vertical-grapas-35mm.html>.

Datos de temperatura. Obtenido de <https://datosclima.es/Aemet2013/Tempestad2013.php>.

Inversor. Obtenido de <https://www.solaricashop.com/sma-sunny-highpower-peak1-shp-75-10.html>.

Fusible. Obtenido de https://autosolar.es/fusibles/fusible-15a-1000vdc-10x38?gclid=CjwKCAjwIJimBhAsEiwA1hrp5o5HA31asbNhj9g3sBAYpqjZPQ6-DWBcg3mIzEztraRBGHT5ZtlcAxoCrWkQAvD_BwE&gclid=aw.ds.

Real Decreto 244/2019. Obtenido de <https://www.cambioenergetico.com/blog/claves-de-la-nueva-normativa-de-autoconsumo-fotovoltaico-real-decreto-244-2019/>.

II ANEXOS

ANEXO 1. PRESUPUESTO TÉCNICO

1 CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

Tabla 1. Cuadro descompuesto Módulo fotovoltaico. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Módulo solar fotovoltaico de células de silicio monocristalino, potencia máxima (Wp) 565 W, tensión a máxima potencia (Vmp) 42,55 V, intensidad a máxima potencia (Imp) 14,42 A, tensión en circuito abierto (Voc) 50,85 V, intensidad de cortocircuito (Isc) 15,37 A, eficiencia 21,9%, 144 células de 182x182 mm, vidrio exterior templado de 3,2 mm de espesor, capa adhesiva de etilvinilacetato (EVA), capa posterior de polifluoruro de vinilo, poliéster y polifluoruro de vinilo (TPT), marco de aluminio anodizado, temperatura de trabajo -40°C hasta 85°C, dimensiones 2279x1134x35 mm, resistencia a la carga del viento 245 kg/m ² , resistencia a la carga de la nieve 551 kg/m ² , peso 31,2 kg, con caja de conexiones con diodos, cables y conectores.	1,00	195,25	195,25
h	Oficial 1ª instalador de captadores solares.	0,39	20,48	7,88
h	Ayudante instalador de captadores solares.	0,39	18,88	7,27
%	Costes directos complementarios	2,00	210,40	4,21
%	Costes indirectos	3,00	214,61	6,44
Total			221,05	

Tabla 2.

Tabla 3. Cuadro descompuesto Inversor. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Inversor trifásico, potencia máxima de entrada 75 kW, voltaje de entrada máximo 1000 Vcc, rango de voltaje de entrada de 570 a 800 Vcc, potencia nominal de salida 75 kW, potencia máxima de salida 75 kVA, eficiencia máxima 98,2%, dimensiones 160x125x49 mm.	1,00	4.588,00	4.588,00
h	Oficial 1ª instalador de captadores solares.	0,58	20,48	11,84
h	Ayudante instalador de captadores solares.	0,58	18,88	10,91
%	Costes directos complementarios	2,00	4.610,75	92,22
%	Costes indirectos	3,00	4.702,97	141,09
Total			4.844,06	

Tabla 4.

Tabla 5. Cuadro descompuesto cable eléctrico 1,5mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Cant	Coste	Importe
Ud.	Concentrador Solar CONNECTION UNIT 1000-US SMA Concentrador solar para conexión de varios strings de módulos fotovoltaicos, con hasta un máximo de 8 entradas, 20 A por entrada y 1000 V de máximo voltaje.	1,00	540,88	540,88
h	Oficial 1ª electricista.	0,20	20,48	4,10
h	Ayudante electricista.	0,20	18,88	3,78
%	Costes directos complementarios	2,00	548,75	10,98
%	Costes indirectos	3,00	559,73	16,79
Ud	Módulo solar fotovoltaico.		576,52	

Tabla 6.

Tabla 7. Cuadro descompuesto cable eléctrico 1,5mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Cable multipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 2x1,5 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Según UNE 21123-2.	1,00	0,64	0,64
h	Oficial 1ª instalador de captadores solares.	0,014	20,48	0,29
h	Ayudante instalador de captadores solares.	0,014	18,88	0,26
%	Costes directos complementarios	2,00	1,19	0,02
%	Costes indirectos	3,00	1,21	0,04
Total			1,25	

Tabla 8.

Tabla 9. Cuadro descompuesto cable eléctrico 4mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Cable multipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 2x4 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Según UNE 21123-2.	1,00	1,50	1,50
h	Oficial 1ª instalador de captadores solares.	0,014	20,48	0,29
h	Ayudante instalador de captadores solares.	0,014	18,88	0,26
%	Costes directos complementarios	2,00	2,05	0,04
%	Costes indirectos	3,00	2,09	0,06
Total			2,15	

Tabla 10. Cuadro descompuesto cable eléctrico 6mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Cable multipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 2x6 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Según UNE 21123-2.	1,00	2,16	2,16
h	Oficial 1 ^a instalador de captadores solares.	0,039	20,48	0,80
h	Ayudante instalador de captadores solares.	0,039	18,88	0,74
%	Costes directos complementarios	2,00	3,70	0,07
%	Costes indirectos	3,00	3,77	0,11
Total			3,88	

Tabla 11. Cuadro descompuesto cable eléctrico 10mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Cable multipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 2x10 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Según UNE 21123-2.	1,00	3,56	3,56
h	Oficial 1 ^a instalador de captadores solares.	0,039	20,48	0,80
h	Ayudante instalador de captadores solares.	0,039	18,88	0,74
%	Costes directos complementarios	2,00	5,10	0,10
%	Costes indirectos	3,00	5,20	0,16
Total			5,36	

Tabla 12. Cuadro descompuesto cable eléctrico 16mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Cable multipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 2x16 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Según UNE 21123-2.	1,00	5,70	5,70
h	Oficial 1 ^a instalador de captadores solares.	0,048	20,48	0,98
h	Ayudante instalador de captadores solares.	0,048	18,88	0,91
%	Costes directos complementarios	2,00	7,59	0,15
%	Costes indirectos	3,00	7,74	0,23
Total			7,97	

Tabla 13.

Tabla 14.

Tabla 15.

Tabla 16. Cuadro descompuesto cable eléctrico 25mm² multipolar. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Cable multipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 4x25 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Según UNE 21123-2.	1,00	16,36	16,36
h	Oficial 1 ^a instalador de captadores solares.	0,048	20,48	0,98
h	Ayudante instalador de captadores solares.	0,048	18,88	0,91
%	Costes directos complementarios	2,00	18,25	0,37
%	Costes indirectos	3,00	18,62	0,56
Total			19,18	

Tabla 17. Cuadro descompuesto cable eléctrico 25mm² unipolar. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 25 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Según UNE 21123-2.	1,00	4,09	4,09
h	Oficial 1 ^a instalador de captadores solares.	0,048	20,48	0,98
h	Ayudante instalador de captadores solares.	0,048	18,88	0,91
%	Costes directos complementarios	2,00	5,98	0,12
%	Costes indirectos	3,00	6,10	0,18
Total			6,28	

Tabla 18. Cuadro descompuesto cable eléctrico 120mm² unipolar. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 120 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Según UNE 21123-2.	1,00	19,12	19,12
h	Oficial 1 ^a instalador de captadores solares.	0,111	20,48	2,27
h	Ayudante instalador de captadores solares.	0,111	18,88	2,10
%	Costes directos complementarios	2,00	23,49	0,47
%	Costes indirectos	3,00	23,96	0,72
Total			24,68	

Tabla 19.

Tabla 20. Cuadro descompuesto fusible 16A. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Fusible cilíndrico, curva gG, intensidad nominal 16 A, poder de corte 100 kA, tamaño 10x38 mm, según UNE-EN 60269-1.	1,00	0,55	0,55
h	Oficial 1ª instalador de captadores solares.	1,000	3,23	3,23
h	Ayudante instalador de captadores solares.	0,201	20,48	4,12
%	Costes directos complementarios	2,00	7,90	0,16
%	Costes indirectos	3,00	8,06	0,24
Total			8,30	

Tabla 21. Cuadro descompuesto bandeja perforada. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Bandeja perforada de PVC, color gris RAL 7035, de 100x200 mm, resistencia al impacto 20 julios, propiedades eléctricas: aislante, no propagador de la llama, estable frente a los rayos UV y con buen comportamiento a la intemperie y frente a la acción de los agentes químicos, según UNE-EN 61537, suministrada en tramos de 3 m de longitud, para soporte y conducción de cables eléctricos.	1,00	19,86	19,86
Ud.	Pieza de unión entre tramos de bandeja, de PVC, color gris RAL 7035, de 100 mm de altura, incluso tornillos con tuerca de acero galvanizado clase 6.	0,67	8,84	5,90
Ud.	Tapa de PVC, color gris RAL 7035, de 100x200 mm, suministrada en tramos de 3 m de longitud, para colocar a presión.	1,00	9,14	9,14
Ud.	Soporte horizontal, de PVC, color gris RAL 7035, incluso tornillos con tuerca de acero galvanizado clase 6.	1,00	8,42	8,42
h	Oficial 1ª electricista.	0,347	20,48	7,11
h	Ayudante electricista.	0,159	18,88	3,00
%	Costes directos complementarios	2,00	53,43	1,07
%	Costes indirectos	3,00	54,50	1,64
Total			56,14	

Tabla 22. Cuadro descompuesto pica toma a tierra. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Toma de tierra con tres picas de acero cobreado de 1,5 m de longitud cada una. Incluye: Replanteo. Excavación con medios mecánicos. Eliminación de las tierras sueltas del fondo de la excavación. Hincado de las picas. Colocación de la arqueta de registro. Conexión de los electrodos con la línea de enlace. Relleno del trasdós. Conexión a la red de tierra. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.	3,00	12,06	36,18
Ud.	Conductor de cobre desnudo, de 35 mm ² .	7,00	2,12	14,84
Ud.	Grapa abarcón para conexión de pica.	3,00	0,75	2,25
Ud.	Arqueta de polipropileno para toma de tierra, de 300x300 mm, con tapa de registro.	1,00	55,77	55,77
Ud.	Puente para comprobación de puesta a tierra de la instalación eléctrica.	1,00	34,67	34,67
Ud.	Saco de 5 kg de sales minerales para la mejora de la conductividad de puestas a tierra.	1,00	2,64	2,64
Ud.	Material auxiliar para instalaciones de toma de tierra.	1,00	0,87	0,87
Ud.	Retrocargadora sobre neumáticos, de 70 kW.	0,05	36,92	1,99
Ud.	Oficial 1ª electricista.	0,25	20,48	5,08
h	Ayudante electricista.	0,248	18,88	4,68
h	Peón ordinario construcción.	0,025	18,69	0,47
%	Costes directos complementarios	2,00	159,44	3,19
%	Costes indirectos	3,00	162,63	4,88
Total			167,51	

Tabla 23. Cuadro descompuesto conductor tierra 25 mm² unipolar. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Conductor de tierra formado por cable rígido desnudo de cobre trenzado, de 25 mm ² de sección. Incluye: Replanteo del recorrido. Tendido del conductor de tierra. Conexión del conductor de tierra mediante bornes de unión. Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.	1,00	0,98	0,98
h	Material auxiliar para instalaciones de toma de tierra.	0,100	0,87	0,09
h	Oficial 1ª electricista.	0,099	20,48	2,03
%	Costes directos complementarios	2,00	3,10	0,06
%	Costes indirectos	3,00	3,16	0,09
Total			3,25	

Tabla 24. Cuadro descompuesto conductor de protección 1,5 mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Conductor de protección 1,5 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado. Incluye: Replanteo del recorrido. Tendido del conductor de tierra. Conexión del conductor de tierra mediante bornes de unión. Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.	1,00	0,20	0,20
h	Oficial 1ª electricista.	0,099	20,48	2,03
%	Costes directos complementarios	2,00	2,23	0,06
%	Costes indirectos	3,00	2,29	0,07
Total			2,36	

Tabla 25. Cuadro descompuesto conductor de protección 4 mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Conductor de protección 4 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado. Incluye: Replanteo del recorrido. Tendido del conductor de tierra. Conexionado del conductor de tierra mediante bornes de unión. Criterio de medición de proyecto: Longitud. medida según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud. realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.	1,00	0,54	0,54
h	Oficial 1ª electricista.	0,099	20,48	2,03
%	Costes directos complementarios	2,00	2,57	0,05
%	Costes indirectos	3,00	2,62	0,08
Total			2,70	

Tabla 26. Cuadro descompuesto conductor de protección 6 mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Conductor de protección 6 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado. Incluye: Replanteo del recorrido. Tendido del conductor de tierra. Conexionado del conductor de tierra mediante bornes de unión. Criterio de medición de proyecto: Longitud. medida según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud. realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.	1,00	0,80	0,80
h	Oficial 1ª electricista.	0,099	20,48	2,03
%	Costes directos complementarios	2,00	2,83	0,06
%	Costes indirectos	3,00	2,88	0,09
Total			2,97	

Tabla 27. Cuadro descompuesto conductor de protección 10 mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Conductor de protección 10 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado. Incluye: Replanteo del recorrido. Tendido del conductor de tierra. Conexionado del conductor de tierra mediante bornes de unión. Criterio de medición de proyecto: Longitud. medida según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud. realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.	1,00	1,33	1,33
h	Oficial 1ª electricista.	0,099	20,48	2,03
%	Costes directos complementarios	2,00	3,36	0,07
%	Costes indirectos	3,00	3,42	0,10
Total			3,53	

Tabla 28. Cuadro descompuesto conductor de protección 16 mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Conductor de protección 16 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado. Incluye: Replanteo del recorrido. Tendido del conductor de tierra. Conexionado del conductor de tierra mediante bornes de unión. Criterio de medición de proyecto: Longitud. medida según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud. realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.	1,00	2,13	2,13
h	Oficial 1ª electricista.	0,099	20,48	2,03
%	Costes directos complementarios	2,00	4,16	0,08
%	Costes indirectos	3,00	4,24	0,13
Total			4,37	

Tabla 29. Cuadro descompuesto conductor de protección 70 mm². Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Conductor de protección 70 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado. Incluye: Replanteo del recorrido. Tendido del conductor de tierra. Conexionado del conductor de tierra mediante bornes de unión. Criterio de medición de proyecto: Longitud. medida según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud. realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.	1,00	9,32	9,32
h	Oficial 1ª electricista.	0,099	20,48	2,03
%	Costes directos complementarios	2,00	11,35	0,23
%	Costes indirectos	3,00	11,57	0,35
Total			11,92	

Tabla 30. Cuadro descompuesto controlador dinámico de potencia. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Controlador dinámico de potencia con gestión de demanda CDP-G. Controlador dinámico de potencia para gestionar los excedentes de producción de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo. Permite realizar inyección cero o inyección controlada. Compatible con la mayoría de los inversores de conexión a red del mercado.	1,00	1.028,80	1.028,80
h	Oficial 1ª electricista.	0,200	20,48	4,10
%	Costes directos complementarios	2,00	1.032,90	20,66
%	Costes indirectos	3,00	1.053,55	31,61
Total			1.085,16	

Tabla 31. Cuadro descompuesto sensor de consumo piko. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Sensor consumo Piko	1,00	165,00	165,00
h	Oficial 1ª electricista.	0,200	20,48	4,10
%	Costes directos complementarios	2,00	169,10	3,38
%	Costes indirectos	3,00	172,48	5,17
Total			177,65	

Tabla 32. Cuadro descompuesto Canalización tubo de PVC. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Canalización de tubo de PVC. Canalización de tubo de PVC, serie B, de 32 mm de diámetro y 3 mm de espesor. Instalación fija en superficie. Incluso accesorios y piezas especiales. Incluye: Replanteo. Colocación y fijación del tubo. Criterio de medición de proyecto: Longitud. medida según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud. realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.	1,00	1,49	1,49
h	Oficial 1ª electricista.	0,047	20,48	0,96
h	Ayudante de electricista.	0,047	18,88	0,89
%	Costes directos complementarios	2,00	2,45	0,05
%	Costes indirectos	3,00	2,50	0,08
Total			3,46	

Tabla 33. Cuadro descompuesto interruptor automático. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Interruptor automático C120N 4P 125A C 10000A 415V MINIATURE CI ref. A9	1,00	175,21	175,21
h	Oficial 1ª electricista.	0,200	20,48	4,10
%	Costes directos complementarios	2,00	179,31	3,59
%	Costes indirectos	3,00	182,89	5,49
Total			188,38	

Tabla 34. Cuadro descompuesto relé diferencial. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	DIFERENCIAL CON AUTOMÁTICO INCORPORADO 4P 125A 30MA	1,00	141,30	141,30
h	Oficial 1ª electricista.	0,200	20,48	4,10
%	Costes directos complementarios	2,00	145,40	2,91
%	Costes indirectos	3,00	148,30	4,45
Total			152,75	

Tabla 35. Cuadro descompuesto alumno. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Coste desarrollo del TFG por el alumno	1,00	10,00	10,00
%	Costes directos complementarios	2,00	10	0,2
%	Costes indirectos	3,00	10,20	0,31
Total			10,51	

Tabla 36.

Tabla 37. Cuadro descompuesto profesorado. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Rendimiento	Coste	Importe
Ud.	Coste profesorado	1,00	38	38
%	Costes directos complementarios	2,00	38	0,76
%	Costes indirectos	3,00	38,76	1,16
Total			39,92	

2 Presupuestos parciales

Tabla 38. Presupuesto parcial: instalación fotovoltaica. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Cantidad	Coste (€)	Importe (€)
Ud.	Módulo solar fotovoltaico de células de silicio monocristalino, potencia máxima (Wp) 565 W	360,00	221,05	79.578,00
Ud.	Concentrador Solar CONNECTION UNIT 1000-US SMA	3,00	576,52	1.729,56
Ud.	Inversor trifásico, potencia máxima de entrada 75 kW	3,00	4.588,00	13.764,00
Total				95.071,56

Tabla 39.

Tabla 40.

Tabla 41. Presupuesto parcial: instalación fotovoltaica. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Cantidad	Coste (€)	Importe (€)
Ud.	Toma de tierra con tres picas de acero cobreado de 1,5 m de longitud cada una.	3,00	167,51	502,53
Ud.	Conductor de tierra formado por cable rígido desnudo de cobre trenzado, de 25 mm ² de sección.	36,00	3,25	117,00
Ud.	Conductor de protección 1,5 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado.	3,40	2,36	8,02
Ud.	Conductor de protección 4 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado.	15,72	2,70	42,44
Ud.	Conductor de protección 6 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado.	28,04	2,97	83,28
Ud.	Conductor de protección 10 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado.	93,04	3,53	328,43
Ud.	Conductor de protección 16 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado.	717,32	4,37	3.134,69
Ud.	Conductor de protección 70 mm ² . Totalmente montado, conexionado y probado.	255,00	11,92	3.039,60
Total				7.256,00

Tabla 42. Presupuesto parcial: instalación eléctrica. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Cantidad	Coste (€)	Importe (€)
Ud.	Controlador dinámico de potencia con gestión de demanda CDP-G	1,00	1.085,16	1.085,16
Ud.	Sensor consumo Piko	1,00	177,65	177,65
Ud.	Canalización de tubo de PVC.	145,00	3,46	501,70
Ud.	Interruptor Automático	3,00	188,38	565,14
Ud.	Relé diferencial	3,00	152,75	458,26
Ud.	Bandeja perforada de PVC	145,00	56,14	8.140,30
Ud.	Fusible cilíndrico	48,00	8,30	398,40
Ud.	Cable multipolar 1,5 mm ² de sección	3,40	1,25	4,25
Ud.	Cable multipolar 4 mm ² de sección	15,72	2,15	33,80
Ud.	Cable multipolar 6 mm ² de sección	28,04	3,88	108,80
Ud.	Cable multipolar 10 mm ² de sección	93,04	5,36	498,69
Ud.	Cable multipolar 16 mm ² de sección	231,96	7,97	1.848,72
Ud.	Cable multipolar 25 mm ² de sección	481,76	19,18	9.240,16
Ud.	Cable unipolar 25 mm ² de sección	3,60	6,28	22,61
Ud.	Cable unipolar 120 mm ² de sección	255,00	24,68	6.293,40
Total				29.377,03

3 Coste de realización del TFG

Tabla 43. Presupuesto parcial: instalación eléctrica. Fuente: Propia.

Ud	Resumen	Cantidad	Coste (€)	Importe (€)
Ud.	Coste desarrollo del proyecto por el alumno	300	10,51	3.153
Ud.	Coste profesorado	30	39,92	1.197,6
Total				4.350,6

4 Presupuesto final

Tabla 44. Presupuesto final. Fuente: Propia.

Presupuesto final	Importe (€)
Instalación fotovoltaica	95.071,56
Puesta a tierra	7.256,00
Instalación eléctrica	29.377,03
Coste material	131.704,59
Coste realización TFG	4.350,6
Gastos generales (13%)	17.687,17
Beneficio industrial (6%)	8.163,31
Presupuesto de ejecución por contrata	161.905,67
I.V.A (21%)	34.000,19
Presupuesto final	195.905,86

Asciende el presupuesto final a la expresada cantidad de ciento noventa y cinco mil novecientos cinco coma ochenta y seis euros.

Anexo 2. Pliego de Condiciones

1. Objetivo del pliego

El objetivo principal del documento Pliego de Condiciones Técnicas es el de establecer las condiciones técnicas por las que se rige todo el proyecto de nuestra instalación fotovoltaica, con autoconsumo con vertido a red interna sin excedentes.

2. Reglamentos

Los reglamentos donde se describen las normas y criterios generales que definen las normas para las distintas unidades de obra son los siguientes:

- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e ITC (R.E.B.T.)

3. Instalación fotovoltaica

El Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (R.E.B.T.) dictamina en la ITC-BT-40 que las distintas instalaciones generadoras de baja tensión, siendo clasificado el campo fotovoltaico como "Instalación generadora".

4. Instalación eléctrica

Para la conexión a red eléctrica se utilizan las Instrucciones Técnicas Complementarias (I.T.C.) del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, las cuales ordenaremos a continuación en función de su posición en el propio reglamento. Estas, cumplirán con el Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, concretamente los artículos 18 y 19.

Para la puesta a tierra se cumplirá el Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, concretamente el artículo 12 y para el cálculo se utilizará el ITC-BT-18.

Los tipos de conductores eléctricos y su tamaño vendrá normalizado por el R.E.B.T. Y para el diseño de la instalación, las intensidades admisibles y tipo de línea de distribución se utilizará el ITC-BT-19.

Los tipos de conductores de protección se diferencian de los anteriores porque su objetivo no es conducir la electricidad sino proteger la instalación frente a contactos indirectos, principalmente. Su tamaño vendrá normalizado por el R.E.B.T. Y para el diseño de la instalación se utilizará el ITC-BT-19.

Respecto a las protecciones se cumplirá el Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, concretamente el artículo 11 y para el cálculo se utilizará el ITC-BT-22 y el ITC-BT-23.

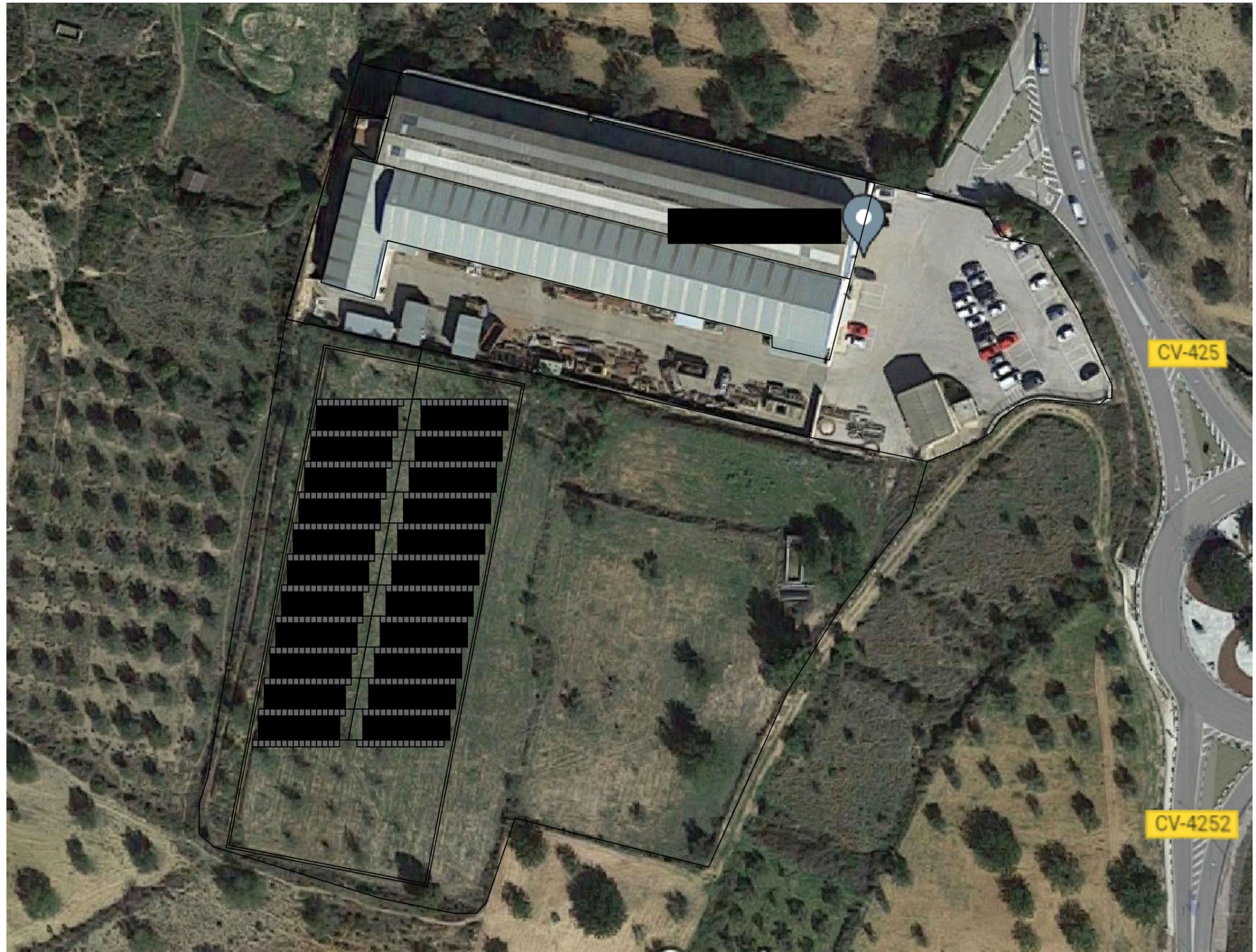
5. Mantenimiento de la instalación eléctrica y fotovoltaica

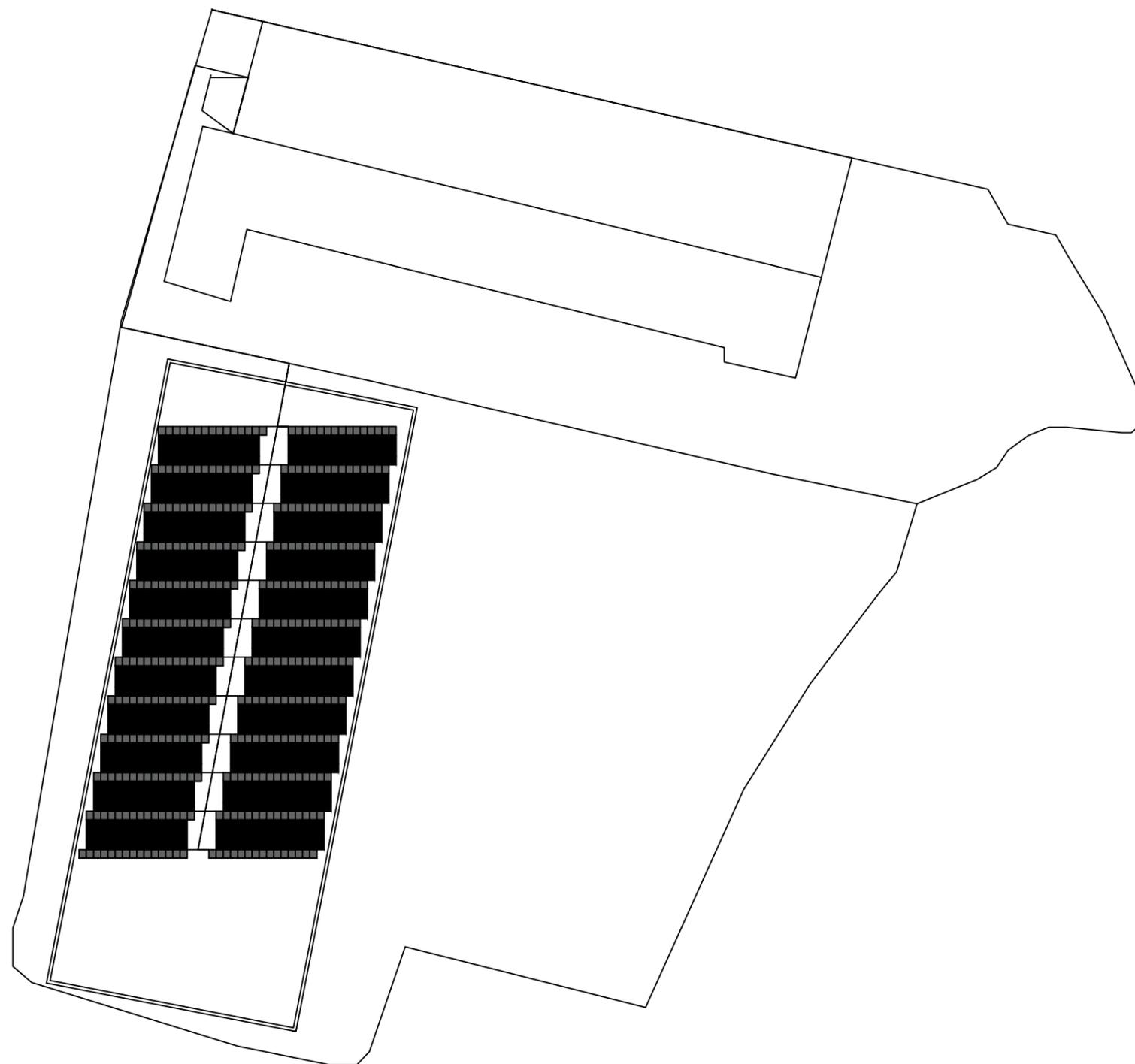
En España, las condiciones técnicas para la fase de mantenimiento de una instalación eléctrica se rigen por la normativa establecida en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

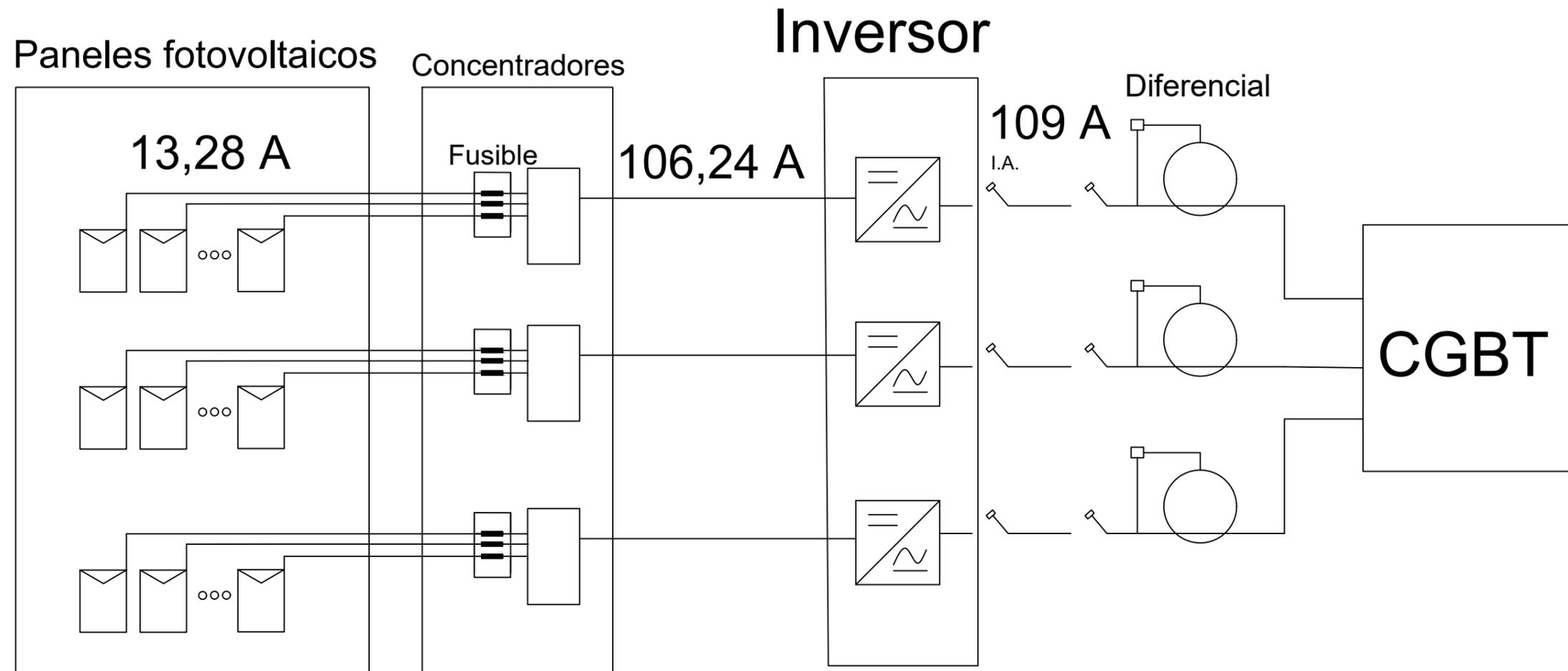
(REBT), que regula las instalaciones eléctricas de baja tensión en el país. Y estas son las consideraciones específicas que se deben tener en cuenta:

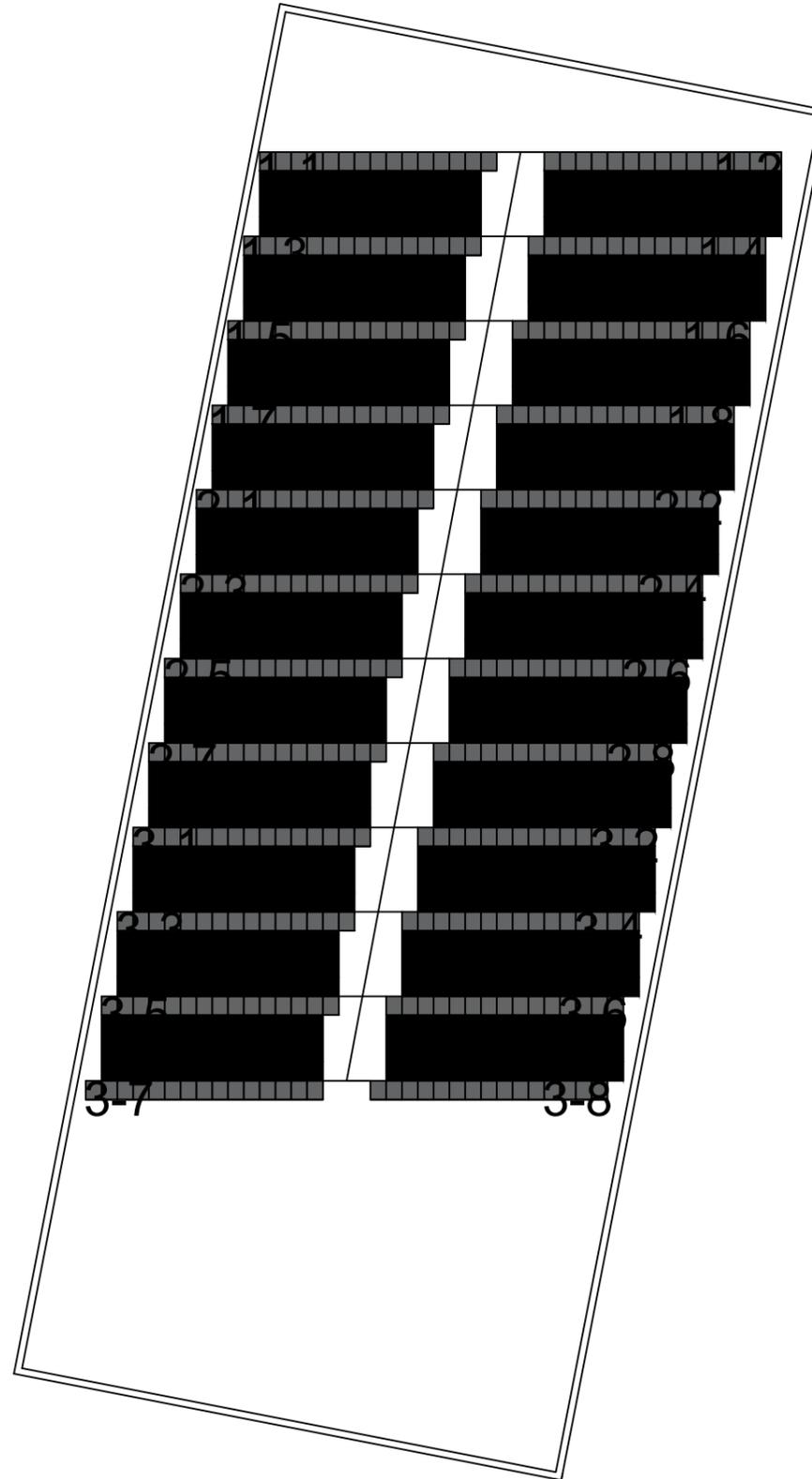
1. Cumplimiento del REBT, hay que asegurarse de cumplir con todas las disposiciones establecidas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RD 842/2002) y las instrucciones técnicas complementarias (ITC) correspondientes.
2. Buscar una empresa habilitada para el mantenimiento, ya que debe ser realizado por una empresa o personal habilitado y autorizado para llevar a cabo trabajos eléctricos. Esta habilitación se obtiene a través de la Dirección General de Industria.
3. Se deben realizar inspecciones periódicas, una por trimestre y deben ser realizadas por una empresa autorizada.
4. También se deben realizar pruebas eléctricas: Realizar pruebas y mediciones eléctricas según lo indicado en las ITC y en función de las características de la instalación. Esto puede incluir mediciones de resistencia de puesta a tierra, aislamiento, impedancia de bucle, entre otros.
5. Para la instalación fotovoltaica, además, se debe realizar limpiezas periódicas y/o, en caso de temporal o sucesos que afecten a la instalación. Esta limpieza deberá ser principalmente efectuada por agua a presión.

Anexo 3. PLANOS









Anexo 4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

Tabla 1. Cálculo de las secciones por CRITERIO TÉRMICO desde placas hasta concentrador 1. Fuente: Propia.

Tramo	Intensidad nominal (A)	Coef. Corrección temperatura ambiente	Cantidad de cables agrupados	Coef. Agrupamiento	Coef. Corrección	Intensidad de diseño (A)	Intensidad tablas (A)	Sección (mm ²)
String 1 a Concentrador 1	13,28	0,91	10	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 2 a Concentrador 1	13,28	0,91	10	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 3 a Concentrador 1	13,28	0,91	10	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 4 a Concentrador 1	13,28	0,91	10	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 5 a Concentrador 1	13,28	0,91	10	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 6 a Concentrador 1	13,28	0,91	10	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 7 a Concentrador 1	13,28	0,91	10	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 8 a Concentrador 1	13,28	0,91	10	0,72	0,6552	20,27	26	1,5

Tabla 2. Cálculo de las secciones por CRITERIO TÉRMICO desde placas hasta concentrador 2. Fuente: Propia.

Tramo	Intensidad nominal (A)	Coef. Corrección temperatura ambiente	Cantidad de cables agrupados	Coef. Agrupamiento	Coef. Corrección	Intensidad de diseño (A)	Intensidad tablas (A)	Sección (mm ²)
String 1 a Concentrador 2	13,28	0,91	9	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 2 a Concentrador 2	13,28	0,91	9	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 3 a Concentrador 2	13,28	0,91	9	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 4 a Concentrador 2	13,28	0,91	9	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 5 a Concentrador 2	13,28	0,91	9	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 6 a Concentrador 2	13,28	0,91	9	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 7 a Concentrador 2	13,28	0,91	9	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 8 a Concentrador 2	13,28	0,91	9	0,72	0,6552	20,27	26	1,5

Tabla 3. Cálculo de las secciones por CRITERIO TÉRMICO desde placas hasta concentrador 3. Fuente: Propia.

Tramo	Intensidad nominal (A)	Coef. Corrección temperatura ambiente	Cantidad de cables agrupados	Coef. Agrupamiento	Coef. Corrección	Intensidad de diseño (A)	Intensidad tablas (A)	Sección (mm ²)
String 1 a Concentrador 3	13,28	0,91	8	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 2 a Concentrador 3	13,28	0,91	8	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 3 a Concentrador 3	13,28	0,91	8	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 4 a Concentrador 3	13,28	0,91	8	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 5 a Concentrador 3	13,28	0,91	8	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 6 a Concentrador 3	13,28	0,91	8	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 7 a Concentrador 3	13,28	0,91	8	0,72	0,6552	20,27	26	1,5
String 8 a Concentrador 3	13,28	0,91	8	0,72	0,6552	20,27	26	1,5

Tabla 4. Cálculo de las secciones por CRITERIO TÉRMICO desde concentrador hasta inversor. Fuente: Propia.

Tramo	Intensidad nominal (A)	Coef. Corrección temperatura ambiente	Cantidad de cables agrupados	Coef. Agrupamiento	Coef. Corrección	Intensidad de diseño (A)	Intensidad tablas (A)	Sección (mm ²)
Concentrador 1 a Inversor 1	106,24	0,91	3	0,82	0,7462	142,37	149	25
Concentrador 2 a Inversor 2	106,24	0,91	9	0,72	0,6552	162,15	185	35
Concentrador 3 a Inversor 3	106,24	0,91	9	0,72	0,6552	162,15	185	35

Tabla 5. Cálculo de las secciones por CRITERIO TÉRMICO desde inversor hasta CGBT. Fuente: Propia.

Tramo	Intensidad nominal (A)	Coef. Corrección temperatura ambiente	Cantidad de cables agrupados	Coef. Agrupamiento	Coef. Corrección	Intensidad de diseño (A)	Intensidad tablas (A)	Sección (mm ²)
Inversor 1 a CGBT	109	0,91	3	0,82	0,7462	146,07	149	25
Inversor 2 a CGBT	109	0,91	3	0,82	0,7462	146,07	149	25
Inversor 3 a CGBT	109	0,91	3	0,82	0,7462	146,07	149	25

Tabla 6. Cálculo de las secciones por CRITERIO DE CAÍDA DE TENSIÓN desde placas hasta concentrador 1. Fuente: Propia.

Tramo	Longitud (m)	Potencia (W)	Tensión (V)	Intensidad nominal (A)	Caída de tensión máx(%)	Sección (mm ²)	Sección normalizada (mm ²)	Caída de tensión (%)	Caída de tensión total (%)
String 1 a Concentrador 1	1,7	8500	638,25	13,28	0,25	0,57	1,50	0,09	0,09
String 2 a Concentrador 1	1,7	8500	638,25	13,28	0,25	0,57	1,50	0,09	0,09
String 3 a Concentrador 1	7,86	8500	638,25	13,28	0,25	2,62	4,00	0,16	0,16
String 4 a Concentrador 1	7,86	8500	638,25	13,28	0,25	2,62	4,00	0,16	0,16
String 5 a Concentrador 1	14,02	8500	638,25	13,28	0,25	4,67	6,00	0,19	0,19
String 6 a Concentrador 1	14,02	8500	638,25	13,28	0,25	4,67	6,00	0,19	0,19
String 7 a Concentrador 1	20,18	8500	638,25	13,28	0,25	6,72	10,00	0,17	0,17
String 8 a Concentrador 1	20,18	8500	638,25	13,28	0,25	6,72	10,00	0,17	0,17

Tabla 7. Cálculo de las secciones por CRITERIO DE CAÍDA DE TENSIÓN desde placas hasta concentrador 2. Fuente: Propia.

Tramo	Longitud (m)	Potencia (W)	Tensión (V)	Intensidad nominal (A)	Caída de tensión máx(%)	Sección (mm ²)	Sección normalizada (mm ²)	Caída de tensión (%)	Caída de tensión total (%)
String 1 a Concentrador 2	26,34	8500	638,25	13,28	0,25	8,77	10,00	0,22	0,22
String 2 a Concentrador 2	26,34	8500	638,25	13,28	0,25	8,77	10,00	0,22	0,22
String 3 a Concentrador 2	32,5	8500	638,25	13,28	0,25	10,82	16,00	0,17	0,17
String 4 a Concentrador 2	32,5	8500	638,25	13,28	0,25	10,82	16,00	0,17	0,17
String 5 a Concentrador 2	38,66	8500	638,25	13,28	0,25	12,87	16,00	0,20	0,20
String 6 a Concentrador 2	38,66	8500	638,25	13,28	0,25	12,87	16,00	0,20	0,20
String 7 a Concentrador 2	44,82	8500	638,25	13,28	0,25	14,93	16,00	0,23	0,23
String 8 a Concentrador 2	44,82	8500	638,25	13,28	0,25	14,93	16,00	0,23	0,23

Tabla 8. Cálculo de las secciones por CRITERIO DE CAÍDA DE TENSIÓN desde placas hasta concentrador 3. Fuente: Propia.

Tramo	Longitud (m)	Potencia (W)	Tensión (V)	Intensidad nominal (A)	Caída de tensión máx(%)	Sección (mm ²)	Sección normalizada (mm ²)	Caída de tensión (%)	Caída de tensión total (%)
String 1 a Concentrador 2	26,34	8500	638,25	13,28	0,25	8,77	10,00	0,22	0,22
String 2 a Concentrador 2	26,34	8500	638,25	13,28	0,25	8,77	10,00	0,22	0,22
String 3 a Concentrador 2	32,5	8500	638,25	13,28	0,25	10,82	16,00	0,17	0,17
String 4 a Concentrador 2	32,5	8500	638,25	13,28	0,25	10,82	16,00	0,17	0,17
String 5 a Concentrador 2	38,66	8500	638,25	13,28	0,25	12,87	16,00	0,20	0,20
String 6 a Concentrador 2	38,66	8500	638,25	13,28	0,25	12,87	16,00	0,20	0,20
String 7 a Concentrador 2	44,82	8500	638,25	13,28	0,25	14,93	16,00	0,23	0,23
String 8 a Concentrador 2	44,82	8500	638,25	13,28	0,25	14,93	16,00	0,23	0,23

Tabla 9. Cálculo de las secciones por CRITERIO DE CAÍDA DE TENSIÓN desde concentrador a inversor. Fuente: Propia.

Tramo	Longitud (m)	Potencia (W)	Tensión (V)	Intensidad nominal (A)	Caída de tensión máx(%)	Sección (mm ²)	Sección normalizada (mm ²)	Caída de tensión (%)	Caída de tensión total (%)
Concentrador 1 a Inversor 1	85	67800	638,25	106,24	0,55	102,63	120,00	0,47	0,66
Concentrador 2 a Inversor 2	85	67800	638,25	106,24	0,55	102,63	120,00	0,47	0,70
Concentrador 3 a Inversor 3	85	67800	638,25	106,24	0,55	102,63	120,00	0,47	0,70

Tabla 10. Cálculo de las secciones por CRITERIO DE CAÍDA DE TENSIÓN desde inversor a CGBT. Fuente: Propia.

Tramo	Longitud (m)	Potencia (W)	Tensión (V)	Intensidad nominal (A)	Caída de tensión máx(%)	Sección (mm ²)	Sección normalizada (mm ²)	Caída de tensión (%)	Caída de tensión total (%)
Inversor 1 a CGBTr	1,2	67800	638,25	109	0,05	15,94	16,00	0,05	0,71
Inversor 2 a CGBT	1,2	67800	638,25	109	0,05	15,94	16,00	0,05	0,75
Inversor 3 a CGBT	1,2	67800	638,25	109	0,05	15,94	16,00	0,05	0,75