



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE 380 KW PARA CUBRIR LA DEMANDA DE UNA INDUSTRIA ALIMENTARIA

AUTOR: ANTONIO AVELLANA MARTÍNEZ

TUTORA: MARÍA JOSEFA PALOMO ANAYA

COTUTORA:

Curso Académico: 2019-20

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su apoyo incondicional, y a mi tutora, por su paciencia y esfuerzo.

Gracias.

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) trata sobre el dimensionado de los componentes y la realización del presupuesto de la instalación fotovoltaica propuesta para cubrir el consumo energético de la planta industrial alimentaria.

Se pretende realizar el estudio para instalar las placas en las cubiertas de la fábrica, teniendo en cuenta la orientación de estas y aprovechando la gran cantidad de energía solar que incide sobre el área en la que está situada la planta.

Se realizará también un estudio presupuestario para estudiar la rentabilidad de esta instalación. Para ello, se tendrán en cuenta los consumos y los gastos de un período de 12 meses de la empresa, además del coste de la instalación de los paneles en la misma, así como los costes variables e indirectos en el período de amortización, dando finalmente un resultado de la viabilidad del proyecto.

De este modo, se pretende averiguar si el uso de energías renovables es factible en este tipo de industrias alimentarias, teniendo en cuenta las ventajas y los inconvenientes que el uso de este tipo de energías implica para la empresa.

Finalmente, cabe destacar la importancia que este tipo de proyectos de investigación está cobrando a causa de la necesidad actual de sustituir el consumo de combustibles fósiles por el uso de energías renovables para la sostenibilidad del planeta.

Palabras clave: instalación fotovoltaica, instalación eléctrica, potencia, consumo, industria alimentaria, presupuesto, viabilidad, energías renovables.

RESUM

Aquest Treball de Fin de Grau (TFG) tracta sobre el dimensionat dels components i la realització del pressupost de la instal·lació fotovoltaica proposada per cubrir el consum energètic de la planta industrial alimentària.

Es pretén realitzar el estudi per a instal·lar les plaques en els terrats de la fàbrica, tenint en compte l'orientació d'aquestes i aprofitant la gran quantitat d'energia solar que incideix sobre la zona en la que està situada la planta.

Es realitzarà també un estudi pressupostari per estudiar la rendibilitat d'aquesta instal·lació. Per a ell, es tindrà en compte els consums i els costos d'un període de 12 mesos de l'empresa, a més del cost de la instal·lació dels panells en la mateixa, així com els costos variables i indirectes en el període d'amortització, donant finalment un resultat de la viabilitat del projecte.

D'aquesta manera, es pretén averiguar si l'ús d'energies renovables és factible en aquest tipus d'indústries alimentàries, tenint en compte les ventajass i els inconvenients que l'ús d'aquest tipus d'energies implica per a l'empresa.

Finalment, es pot destacar la importància que aquest tipus de projectes d'investigació està cobrint a causa de la necessitat actual de substituir el consum de combustibles fòssils per l'ús d'energies renovables per a la sostenibilitat del planeta.

Paraules clau: instal·lació fotovoltaica, instal·lació elèctrica, potencia, consum, indústria alimentària, presupost, viabilitat, energies renovables.

ABSTRACT

This Final Degree Project (TFG) deals with the sizing of the components and the realization of the budget for the photovoltaic installation proposed in order to cover the energy consumption of the food industrial plant.

The study is intended to install the plates on the roofs of the factory, taking into account the orientation of these and taking advantage of the large amount of solar energy that affects the area in which the plant is located.

A budget study will also be carried out to study the profitability of this facility. For this, we will take into account the consumptions and the expenses from a period of 12 months of the company, in addition to the cost of the installation of the panels, as well as the variable and indirect costs in the period of amortization, giving finally a result of the viability of the project.

In this way, it is intended to find out whether the use of renewable energy is feasible in this type of food industry, taking into account the advantages and disadvantages that the use of this type of energy implies for the company.

Finally, it is worth noting the importance that this type of research project is gaining due to the current need to replace the consumption of fossil fuels with the use of renewable energy for the sustainability of the planet.

Key words: photovoltaic installation, electric installation, power, consumption, food industry, budget, viability, renewable energies.

ÍNDICE MEMORIA

1.	OBJETIVO DEL DOCUMENTO	1
2	INTRODUCCIÓN	3
2.1	MOTIVACIÓN	3
2.2	ALCANCE	3
3	ANTECEDENTES	5
3.1	ORIGEN DE LA ENERGÍA RENOVABLE	5
3.1.1	Precursores	5
3.1.2	Alternativas.....	5
3.2	ORIGEN DE LA ENERGÍA SOLAR	6
3.2.1	Energía solar térmica.....	6
3.2.2	Energía solar fotovoltaica.....	6
3.3	SITUACIÓN ENERGÉTICA INTERNACIONAL	7
3.3.1	Insostenibilidad del sistema energético.....	7
3.3.2	Producción de energía solar fotovoltaica.....	8
3.4	SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA.....	10
3.4.1	Sistema energético	10
3.4.2	Energía solar fotovoltaica.....	10
3.4.3	Situación actual	11
3.5	SITUACIÓN ENERGÉTICA AUTONÓMICA.....	11
3.6	MEDIDAS LEGISLATIVAS.....	12
3.6.1	En Europa	12
3.6.2	En España 2008 cese ayudas, 2010-11 impuesto sol, 2018 quitan la ley y 2019 ley autoconsumo.....	13
3.7	DESARROLLO SOSTENIBLE	14
3.7.1	Objetivos de la ONU	14
3.7.2	Acuerdo de París.....	14
4	EMPRESA	17
4.1	ESTUDIO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LA EMPRESA	17
4.1.1	Gastos.....	17
4.1.2	Consumo energético	18
4.1.3	Factura eléctrica.....	19
5	EL RECURSO SOLAR.....	21
5.1	Distribución espectral de la radiación solar.....	21
5.2	Tipos de radiación.....	21

6	DISEÑO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA: CONDICIONES.....	23
6.1	EMPRESA.....	23
6.2	RADIACIÓN SOLAR EN LA ZONA.....	23
6.3	COMPARATIVA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	25
7	DISEÑO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA: CÁLCULOS.....	27
7.1	CÁLCULO ENERGÍA PRODUCIDA POR MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	27
7.2	CÁLCULO NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	27
7.3	ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN MÓDULOS	28
7.4	SEPARACIÓN ENTRE MÓDULOS.....	28
7.5	ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	29
7.5.1	Definiciones	29
7.5.2	Procedimiento de cálculos	30
8	PRESUPUESTO	43
8.1	DESCRIPCIÓN UNIDADES DE OBRA.....	43
8.2	PRESUPUESTOS PARCIALES Y PRESUPUESTO FINAL	47
9	ANÁLISIS VIABILIDAD ECONÓMICA	49
9.1	TIPO DE FINANCIACIÓN	49
9.2	CÁLCULO DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO	49
10	CONCLUSIONES	53
11	BIBLIOGRAFÍA	55

ANEXOS

PLIEGO DE CONDICIONES

PLANOS

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Molino de viento cerca del Cairo. Fuente: Flickr.....	5
Figura 2: Horno solar de Lavoisier. Fuente: laenergiasolar.org.	6
Figura 3: Satélite “Vanguard 1”. Fuente: El periódico de la energía.com.....	7
Figura 4: Evolución del consumo mundial de energía primaria. Fuente: energiaysociedad.es....	8
Figura 5: Generación de energía solar FV en el Escenario de Desarrollo Sostenible. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (AIE).	9
Figura 6: Mayores productores de energía solar FV en 2018. Fuente: La Vanguardia.	10
Figura 7: Estructura de generación del sistema eléctrico nacional. Fuente: REE.	11
Figura 8: Potencia renovable instalada en España hasta 2018. Fuente: CNMC.....	12
Figura 9: Esquema del Pacto Verde Europeo. Fuente: Comisión Europea (CE).	13
Figura 10: Emisiones gases efecto invernadero (evolución y objetivos). Fuente: Agencia Europea del Medio Ambiente.	15
Figura 11: Localización de la empresa. Fuente: Propia.	17
Figura 12: Evolución del consumo energético en un año. Fuente: propia.	19
Figura 13: Evolución del coste de la energía (con IVA) en un año. Fuente: propia.	19
Figura 14: Espectro electromagnético de la radiación solar. Fuente: IDEAM.....	21
Figura 15: Vista de cubiertas de la empresa. Fuente: propia en base a Google Earth.	23
Figura 16: Fragmento del documento generado por el PVGIS. Fuente: propia en base a PVGIS.	24
Figura 17: Comparativa entre la capacidad energética de los módulos fotovoltaicos y la demanda de la empresa anualmente. Fuente: propia.....	28
Figura 18: Esquema distancia entre placas. Fuente: propia.	29
Figura 19: Esquema genérico elementos instalación fotovoltaica. Fuente: propia.....	30
Figura 20: Imagen AutoCAD para obtener en número de placas máximo en cubierta. Fuente: propia.	31
Figura 21.a: Reparto de los concentradores en la totalidad de cubierta. Fuente: propia.....	34
Figura 21.b: Detalle del concentrador situado más al sur, el C1.4. Fuente: propia.....	34
Figura 22: Esquema de la instalación tras introducir concentrador de segundo nivel. Fuente: propia.	35
Figura 23: Colocación concentradores de nivel 2. Fuente: propia.....	36

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Datos PVGIS para el cálculo de las HSP. Fuente: propia en base a PVGIS.....	25
Tabla 2: Paneles solares con mayor eficiencia (2019-2020). Fuente: Sunfields Europe.....	25
Tabla 3: Comparativa características eléctricas placas. Fuente: propia.	26
Tabla 4: Características de entrada del Inversor Huawei SUN2000-185 KTL-H1. Fuente: propia.	32
Tabla 5: Características eléctricas concentrador ABB STRINGBOX DC 16 str 1500V 1F. Fuente: propia.	33
Tabla 6: Corrientes que circulan por los concentradores de nivel 1. Fuente: propia.....	35
Tabla 7: Concentradores de nivel 1 asignados a cada concentrador de nivel 2. Fuente: propia.	37
Tabla 8: Cálculo de las secciones en función del criterio térmico. Fuente: propia.....	38
Tabla 9: Cálculo de las secciones en función del criterio de caída de tensión. Fuente: propia..	40
Tabla 10: Cables necesarios para la instalación fotovoltaica. Fuente: propia.	40
Tabla 11: Características hornacina Adelec APL 60 con TMF 10. Fuente: propia.....	41
Tabla 12: Características tubo rígido 25 mm diámetro.....	41
Tabla 13: Cuadro de Precios Descompuesto: módulo fotovoltaico. Fuente: Propia.	43
Tabla 14: Cuadro de Precios Descompuesto: inversor solar. Fuente: Propia.	43
Tabla 15: Cuadro de Precios Descompuesto: concentrador solar. Fuente: Propia.	43
Tabla 16: Cuadro de Precios Descompuesto: hornacina. Fuente: Propia.....	44
Tabla 17: Cuadro de Precios Descompuesto: tubo canalización. Fuente: Propia.....	44
Tabla 18: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 1,5 mm ² . Fuente: Propia.....	44
Tabla 19: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 2,5 mm ² . Fuente: Propia.....	44
Tabla 20: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 4 mm ² . Fuente: Propia.....	45
Tabla 21: Cuadro de Precios Descompuesto cable 6 mm ² . Fuente: Propia.....	45
Tabla 22: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 16mm ² . Fuente: Propia.....	45
Tabla 23: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 25 mm ² . Fuente: Propia.....	46
Tabla 24: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 35 mm ² . Fuente: Propia.....	46
Tabla 25: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 95 mm ² monofásico. Fuente: Propia.	46
Tabla 26: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 95 mm ² trifásico. Fuente: Propia.	47
Tabla 27: Presupuestos parciales. Fuente: propia.	47
Tabla 28: Cálculo de presupuesto final. Fuente: propia.	48
Tabla 29: Gastos anuales de mantenimiento de placas. Fuente: propia.	50
Tabla 30: Gastos de la empresa sin placas en los próximos 25 años. Fuente: propia.	50
Tabla 31: Resumen condiciones financiación IVF. Fuente: propia.....	51

Tabla 32: Gastos de la empresa con placas en los próximos 25 años. Fuente: propia.....	51
Tabla 33: Período de amortización. Fuente: propia.....	52

MEMORIA

1. OBJETIVO DEL DOCUMENTO

El objetivo de este TFG es el diseño de una instalación fotovoltaica para cubrir la demanda energética de una industria alimentaria. A partir de este trabajo se va a comprender el recurso solar disponible y cómo fomentar el uso de la energía renovable, en concreto la energía solar fotovoltaica.

Para ello, el TFG consta de las siguientes partes:

- Análisis de la radiación solar en función de la ubicación de la empresa.
- Estudio del contrato de suministro eléctrico.
- Estudio de la demanda diurna.
- Estudio de las condiciones de cubierta y determinación del número de paneles fotovoltaicos
- Determinación de las condiciones del conexionado de cables a la red
- Viabilidad económica del proyecto

A través del desarrollo del TFG, se va a utilizar los conocimientos adquiridos durante la formación en el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 MOTIVACIÓN

Uno de los objetivos que se ha propuesto el autor del TFG a nivel personal de cara al futuro es colaborar en la medida de lo posible con el problema medioambiental. Así pues, pretende contribuir de la mejor manera a reducir los diferentes tipos de contaminación que pueda aportar en su día a día al entorno.

Una de las diferentes opciones que conoce es el uso de las llamadas “energías renovables”, que se presentan como una solución frente a, entre otros, el problema de sobreexplotación de recursos naturales que existe en la actualidad, o la contaminación atmosférica producida por el uso de combustibles fósiles como el petróleo. Por esto, el autor tiene una visión de optimismo en lo que a este tipo de energías se refiere.

Con estas ideas en mente, a nivel de estudiante del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales, una de las opciones que tiene es presentar un TFG que tenga como objetivo demostrar la validez de las energías renovables, en este caso la fotovoltaica, tanto para obtener energía como para obtener rentabilidad económica a nivel empresarial.

2.2 ALCANCE

La instalación fotovoltaica que se va a diseñar está condicionada por el consumo/demanda de energía eléctrica y por la superficie de cubierta útil de las naves industriales de la empresa, por lo que es necesario determinar cuál es la demanda diurna y cuánta se puede cubrir con la superficie útil de cubierta.

En estas condiciones se realizará el estudio de viabilidad económica del proyecto para obtener unos resultados que indiquen si el proyecto es económicamente rentable.

3 ANTECEDENTES

3.1 ORIGEN DE LA ENERGÍA RENOVABLE

3.1.1 Precursores

El uso de los recursos disponibles en la naturaleza para la obtención de energía por parte del ser humano es una práctica que se ha llevado a cabo, por ejemplo, desde el aprovechamiento de la energía eólica para mover las embarcaciones de vela. Posteriormente, aparecieron los molinos de viento (Figura 1) y, más tarde, los de agua, iniciándose así el uso de la energía hídrica. No obstante, con la Revolución Industrial, aparecieron los combustibles fósiles y los motores térmicos, que sustituyeron a los métodos anteriores de obtención de energía.

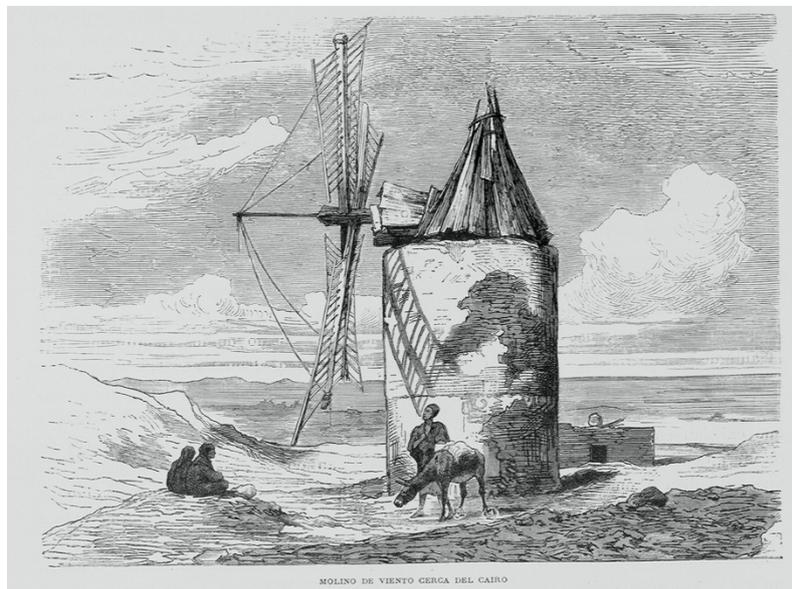


Figura 1: Molino de viento cerca del Cairo. Fuente: Flickr.

3.1.2 Alternativas

Inicialmente, los combustibles fósiles parecían una fuente inagotable de recursos, pero con el paso de los años se descubrió que no era así. Es en la década de 1970 cuando se presentan las energías renovables como una alternativa a las no renovables, respaldadas por ser inagotables y “limpias”, por su baja o nula condición contaminante. El inconveniente que presentaban era que tenían una producción y un desarrollo muy bajos.

Actualmente, las energías renovables son una opción viable, con una producción suficiente y un desarrollo notable, pero con un futuro muy prometedor.

3.2 ORIGEN DE LA ENERGÍA SOLAR

Las primeras formas de aprovechamiento de la energía del sol fueron las que utilizaban dicha energía de manera pasiva, es decir, se utilizaba para la iluminación. Los primeros en modificar las viviendas para dicho fin fueron los griegos, pero los romanos fueron más allá: dejaban una parte de las paredes de la vivienda reservada para cubrirla con vidrio, permitiendo así el paso de la luz y conservando mejor el calor en el interior.

Otra manera de utilizar la energía solar la inventó Arquímedes, un físico, ingeniero, inventor, astrónomo y matemático griego que desarrolló un sistema que reflejaba la luz a través de diferentes espejos, que concentraban la luz en un punto, para prender fuego a las embarcaciones enemigas. Estos fueron los orígenes de la llamada “energía solar térmica”.

3.2.1 Energía solar térmica

Este tipo de energía se obtiene mediante la concentración de los rayos de luz en un punto concreto, lo cual produce un calentamiento en dicho punto con un determinado fin. Podemos decir que se inicia su desarrollo en 1767 con la “caja caliente”, un cubo de paredes negras de madera recubiertas de aislante y techo acristalado cuyo interior alcanzaba temperaturas próximas a los 100 °C, del inventor suizo Horace-Bénédict de Saussure. Más tarde, Lavoisier inventó “horno solar” en 1792, que permitía alcanzar temperaturas capaces de fundir metales, el cual se muestra en la Figura 2. (La energía solar , 2019)

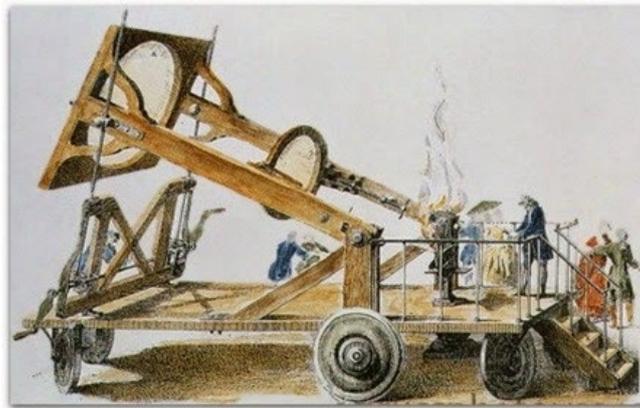


Figura 2: Horno solar de Lavoisier. Fuente: laenergiasolar.org.

3.2.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica nace como aplicación práctica del efecto fotovoltaico descubierto por Alexandre Edmond Becquerel en 1839. Un siglo más tarde, en 1946, el inventor estadounidense Russel Ohl creó y patentó la primera célula fotovoltaica de silicio. El funcionamiento es sencillo: los rayos de luz inciden sobre una capa de material, en este caso Silicio, que absorbe los fotones de luz para emitir electrones, generando así una corriente eléctrica que se puede utilizar como electricidad. (Planas, 2015)

Poco tiempo después, en 1956, se comenzó a comercializar con las placas de silicio hasta que, en 1958, se lanzó al espacio la primera nave, llamada “Vanguard 1”, que utilizaba esta tecnología, la podemos observar en la Figura 3. (Roca, 2018)



Figura 3: Satélite “Vanguard 1”. Fuente: El periódico de la energía.com.

Tras estos primeros pasos, la energía solar fotovoltaica adquirió mucha popularidad en la industria aeroespacial, pues fue un desarrollo de notable importancia a nivel tecnológico. Desde un primer momento se ha tenido como objetivo mejorar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, pues sus primeros rendimientos apenas eran de un 1%. Así pues, gracias a la investigación del silicio y sus aleaciones, entre otras cosas, se han ido incrementando los valores de dicho factor hasta alcanzar aproximadamente un 20% de rendimiento. Gracias a este nivel de desarrollo, la energía solar fotovoltaica es, en estos momentos, una de las grandes fuentes de energía renovable que podemos utilizar.

3.3 SITUACIÓN ENERGÉTICA INTERNACIONAL

3.3.1 Insostenibilidad del sistema energético

Un modelo energético sostenible es aquel en el que se garantiza un desarrollo económico, social y ambiental, además de satisfacer las necesidades energéticas actuales sin comprometer las de las generaciones futuras. Que cumple simultáneamente 3 condiciones:

- **Seguridad energética:** debe garantizar la continuidad de suministro a precios razonables para los consumidores.
- **Competitividad:** no debe ser un peligro para la competitividad ni el desarrollo económico.
- **Sostenibilidad ambiental:** la producción y el consumo energético no debe producir un impacto inasumible por el entorno.

Actualmente, el modelo energético se caracteriza por un crecimiento constante de del consumo de energía basado en recursos finitos como los combustibles fósiles.

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) prevé que, si se mantiene la tendencia de demanda energética, esta crecerá un 30% para el 2040. Además, los combustibles fósiles representarán un 80% de la energía consumida, como se puede observar en la Figura 4.

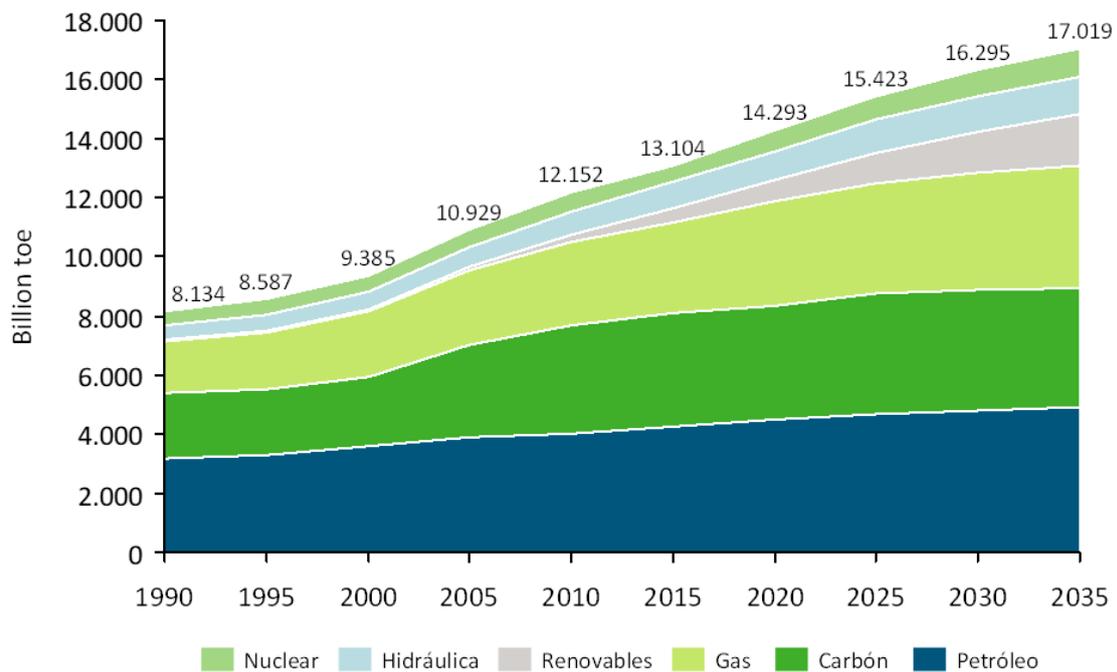


Figura 4: Evolución del consumo mundial de energía primaria. Fuente: *energiasociedad.es*.

Esta tendencia implica un crecimiento progresivo del precio de los combustibles fósiles que no puede garantizar una sostenibilidad económica. Por otro lado, el consumo excesivo de combustibles fósiles afectará todavía más al medio ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero, por lo que resulta imposible garantizar también la sostenibilidad ambiental. Finalmente, desde el punto de vista social, el sistema energético vigente no garantiza el acceso a las formas avanzadas de energía (mayormente electricidad) a casi 2000 millones de personas en el mundo, privándoles así de la posibilidad de desarrollo humano y crecimiento económico. (Energía y sociedad, s.f.)

3.3.2 Producción de energía solar fotovoltaica

Frente a los problemas planteados anteriormente, existen alternativas como la energía solar fotovoltaica. Un sistema de obtención de energía que paliaría los efectos negativos del consumo excesivo de combustibles fósiles.

Esta metodología se ha desarrollado en gran proporción en los últimos años, y se pretende seguir desarrollando todavía más en la próxima década. En la Figura 5 podemos observar el aumento del uso de la energía solar fotovoltaica, además de los objetivos de generación para poder alcanzar un desarrollo sostenible en 2030 según la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

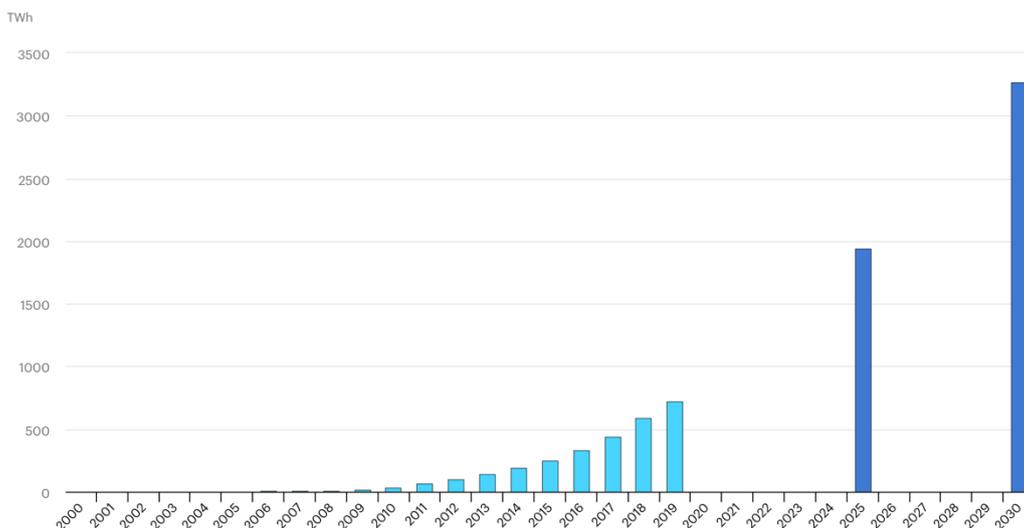


Figura 5: Generación de energía solar FV en el Escenario de Desarrollo Sostenible. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (AIE).

Durante la década de los 90, prácticamente toda la energía solar que se producía era en Estados Unidos. Con el nuevo siglo, Japón incrementó rápidamente su producción, adelantando y colocándose en los primeros siete años como mayor productor de energía solar en el mundo. En ese año Alemania realizó una gran inversión en este tipo de energía y se colocó por encima. El año siguiente fue el año en el que España se incorporó al grupo de países que utilizan la energía solar fotovoltaica, pero el caso de España lo analizaremos con mayor detalle posteriormente.

En los últimos diez años, los mayores productores hasta el momento se han mantenido, con la incorporación de algunos países del centro de Europa, India y China, este último apareciendo con un crecimiento meteórico desde el año 2015, para convertirse en el mayor productor de energía solar fotovoltaica en 2018, como podemos observar en la Figura 6. (Vives, 2020)

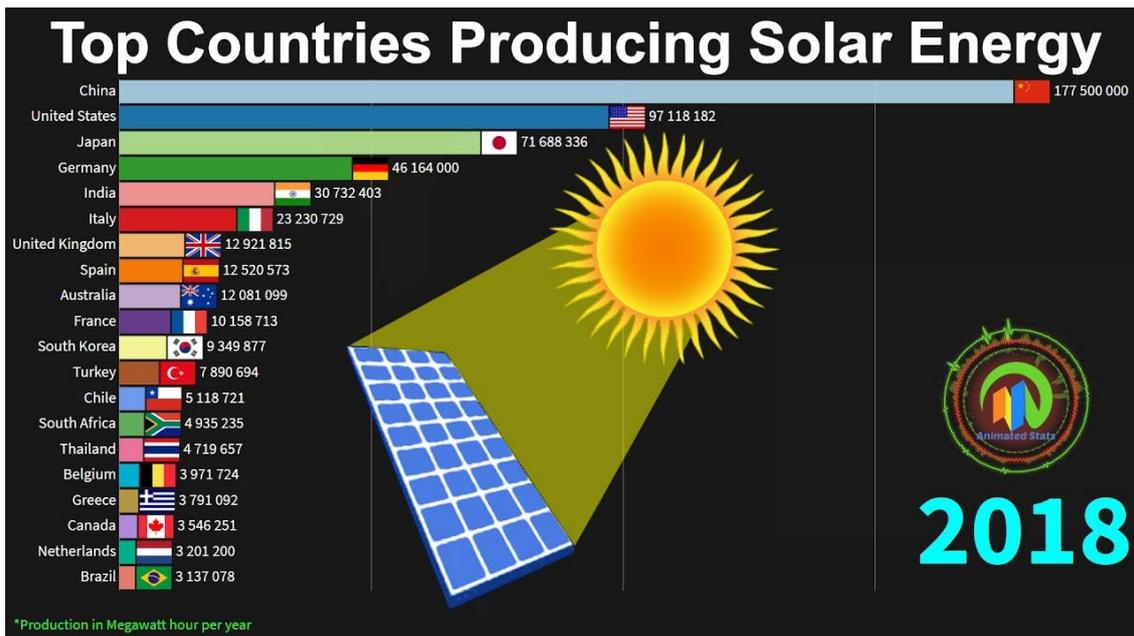


Figura 6: Mayores productores de energía solar FV en 2018. Fuente: La Vanguardia.

3.4 SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

3.4.1 Sistema energético

España es un país que importa aproximadamente el 76% de su consumo energético, lo cual tiene repercusiones negativas sobre la economía del país, pues supone un gasto muy alto. Además, esta energía importada proviene casi exclusivamente de combustibles fósiles, que emiten gases de efecto invernadero. (APPA Asociación de Empresas de Energías Renovables, s.f.)

No obstante, España es un país con recursos para disminuir en gran medida esta importación de energía mediante el uso de las renovables como el viento, el agua o el sol. Aplicando este cambio se solucionarían los dos problemas comentados anteriormente: reduciríamos la cantidad de energía importada, acercándonos a la autosuficiencia energética y disminuiríamos la cantidad de gases de efecto invernadero, colaborando así contra el cambio climático.

3.4.2 Energía solar fotovoltaica

A principios del siglo XXI empezaron a desarrollarse las energías a nivel internacional, como hemos comentado anteriormente. España, siendo un país con recurso renovable suficiente, se propuso en 2008 incorporarse al conjunto de naciones comprometidas con el medio ambiente instalando una gran cantidad de centros de producción de energía solar fotovoltaica.

Tras varios años desarrollando este tipo de tecnología e implantándolo en fábricas y hogares, en 2015 apareció el llamado **Impuesto al sol**, que imponía el pago de una cuantía económica a los que habían instalado una producción superior a 10kW “para el mantenimiento del sistema”, pues también las instalaciones fotovoltaicas estaban conectadas a la red. Rápidamente, ecologistas, empresarios de renovables y asociaciones de consumidores se postularon en contra

de este nuevo impuesto, pues los detractores sospechaban que se trataba de una manera de compensar las posibles pérdidas económicas de las compañías eléctricas.

El mayor problema que supuso este impuesto fue que se detuvo la instalación de energía solar fotovoltaica hasta que, en 2018, el nuevo gobierno derogó dicho impuesto, facilitando de nuevo la producción e instalación de este tipo de tecnología. (APPA Asociación de Empresas de Energías Renovables, s.f.)

3.4.3 Situación actual

A principios de 2020 se anunció que en 2019 se añadieron 6456 megavatios de nueva potencia renovable, con lo que el país ha alcanzado un máximo de potencia generada entre todas las energías en un valor de 110000 megavatios. El porcentaje que corresponde a la energía renovable es aproximadamente un 50%, unos 55 GW. Dentro de las renovables, la energía solar fotovoltaica produce un 16%. En la figura 7 se puede apreciar la proporción de la producción energética según el tipo de fuente y las diferencias entre el año 2018 y 2019. (Barrero, 2020)

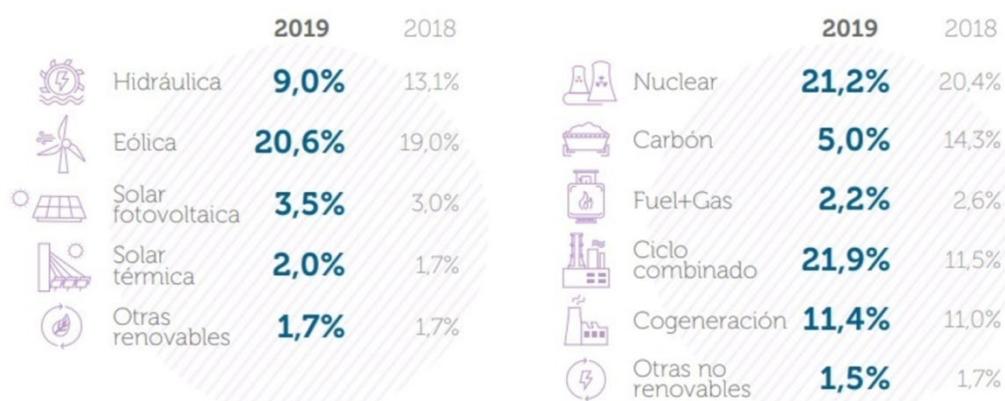


Figura 7: Estructura de generación del sistema eléctrico nacional. Fuente: REE.

3.5 SITUACIÓN ENERGÉTICA AUTONÓMICA

España es un país rico en recursos naturales. Su gran extensión, así como su diferencia de climas y alturas lo convierte en un paraíso para el aprovechamiento de las energías renovables. Lógicamente, los recursos no se encuentran distribuidos uniformemente, si no que depende de diversos factores.

En este caso, más de la mitad de la potencia instalada con energías renovables se concentra en 4 comunidades: Castilla y León, Castilla la Mancha, Andalucía y Galicia. Destacan las dos castillas, que poseen, aproximadamente, una potencia energética de origen renovable de un 70% de la total en la comunidad.

En cuanto a potencia generada, hay 6 comunidades autónomas donde más del 40% de la energía generada es de origen renovable, entre las que destacan Castilla y León y Navarra, con un 64% y un 61% respectivamente.

Por lo que a la energía solar fotovoltaica se refiere, la comunidad más destacada es Castilla la Mancha, con un 20% de la total nacional. Andalucía, Extremadura, Castilla y las dos castillas suman más de un 60% de la energía solar fotovoltaica instalada en España. (Munguía, 2018)

Cabe destacar, finalmente, que las dos castillas son comunidades líderes en cuanto a términos de renovables se refiere porque poseen unas características topológicas que favorecen el uso tanto de la energía eólica como de la solar.

En la Figura 8 podemos observar la potencia de origen renovable instalada por comunidades autónomas en España.

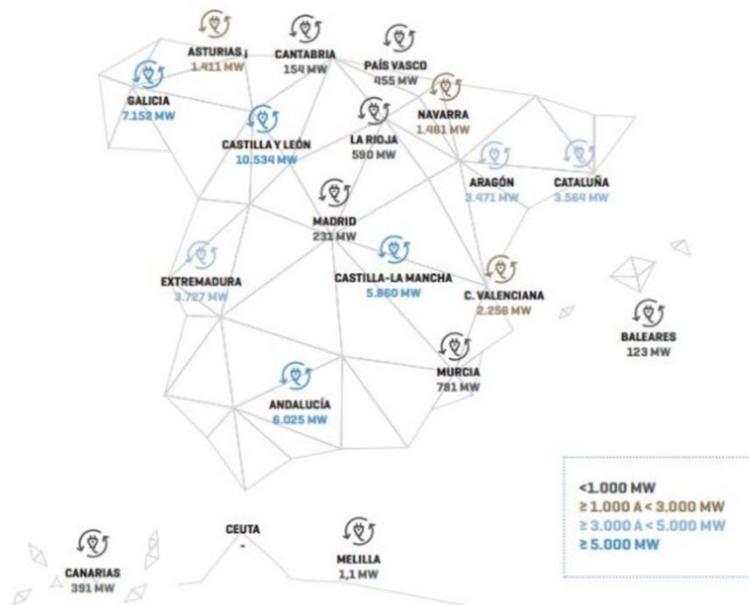


Figura 8: Potencia renovable instalada en España hasta 2018. Fuente: CNMC.

3.6 MEDIDAS LEGISLATIVAS

3.6.1 En Europa

La promoción, a nivel legislativo, de las energías renovables en los últimos años se ha incrementado notablemente: en 2009 se acordó que el 20% de la energía consumida por el continente europeo tuviera origen renovable para el año 2020; además, en 2018 se produjo un nuevo acuerdo de alcanzar un 32% de renovables para el año 2030. (Tello, 2020)

Posteriormente, en diciembre de 2019, se aprobó el llamado “Pacto Verde europeo”. Este pacto se aprueba como medida para actuar contra el cambio climático y la degradación medioambiental. Se propone una nueva estrategia de crecimiento que transforme el continente europeo en una economía moderna, eficiente en el uso de recursos y competitiva.

La UE aspira a ser climáticamente neutra en 2050. Para ello, se ha propuesto una Ley Europea del Clima que convierta este compromiso político en una obligación legal. (Comisión Europea, 2019)

Es un plan de acción que pretende:

- Impulsar un uso eficiente de recursos mediante el paso a una economía limpia y circular.
- Restaurar la biodiversidad y reducir la contaminación.

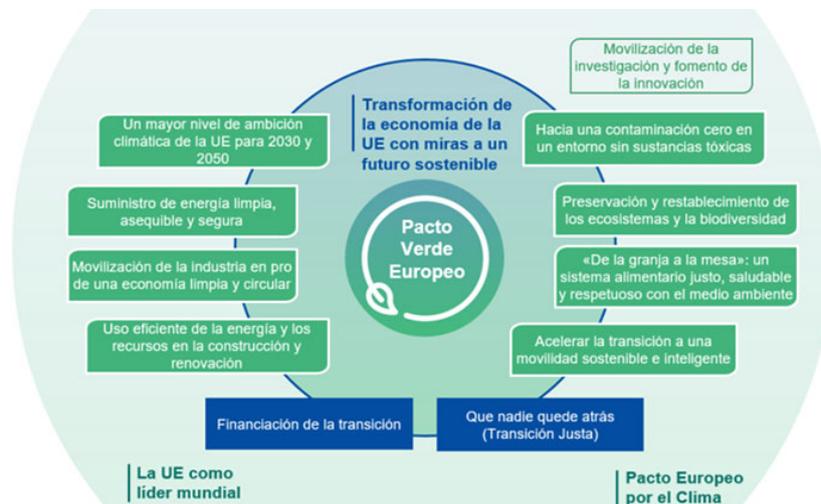


Figura 9: Esquema del Pacto Verde Europeo. Fuente: Comisión Europea (CE).

3.6.2 En España

A nivel nacional, el día 23 de junio de 2020 se aprobó, en un consejo de ministros, un Real Decreto-ley que se ha fijado tener un sistema eléctrico 100% renovable para 2050, con el objetivo de favorecer la reactivación económica en línea con el Pacto Verde europeo. (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2020)

La norma elimina barreras para el despliegue masivo de fuentes renovables, define nuevos modelos de negocio y fomenta la eficiencia energética, entre otras cuestiones.

El decreto se divide en 4 bloques:

- El primero incluye la regulación de acceso y conexión modificando el sistema de subastas con el fin de otorgar a las renovables un marco predecible y estable.
- El segundo busca el impulso de la creación de nuevos negocios, clave para la reactivación económica tras la crisis del COVID-19.
- En tercer lugar, se busca fomentar la eficiencia energética flexibilizando el Fondo Nacional de Eficiencia Energética.
- Por último, se establecen una serie de medidas sectoriales para el impulso de la actividad económica y el empleo en respuesta a la crisis del COVID-19.

3.7 DESARROLLO SOSTENIBLE

3.7.1 Objetivos de la ONU

En 2015, la ONU aprobó la **Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible** con la idea de emprender un nuevo camino y mejorar la vida de todos. Para ello, se valió de los **17 Objetivos del Desarrollo Sostenible**. Los objetivos son los siguientes:

1. Fin de la pobreza
2. Hambre cero
3. Salud y bienestar
4. Educación de calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
- 7. Energía asequible y no contaminante**
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
- 11. Ciudades y comunidades sostenibles**
- 12. Producción y consumo responsables**
- 13. Acción por el clima**
- 14. Vida submarina**
- 15. Vida de ecosistemas terrestres**
16. Paz, justicia e instituciones sólidas
17. Alianzas para lograr los objetivos

Se han marcado los objetivos a los que se contribuye con el uso de las energías renovables y, como se puede apreciar, estas son una forma muy útil de colaborar con dichos objetivos. Por este motivo deducimos que las energías renovables van a ser un pilar fundamental en el futuro. (ONU Organización de las Naciones Unidas, 2015)

3.7.2 Acuerdo de París

El **Acuerdo de París** persigue evitar el cambio climático manteniendo el calentamiento global por debajo de los 2°C y buscando limitarlo a 1,5°C. También se pretende mejorar la capacidad de los países para hacer frente a los efectos del cambio climático. (Comisión Europea, 2016)

Se acordó que había una serie de elementos que serían clave para el cumplimiento del objetivo:

- Reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera
- Transparencia entre gobiernos y balance global para rendir cuentas
- Capacidad de adaptación de los países para afrontar el cambio
- Reducir los posibles efectos adversos del cambio climático al máximo
- Compromiso por parte de las administraciones locales con los acuerdos
- Apoyo entre países

Por último, cabe destacar que el papel de la UE es fundamental para conseguir el objetivo, pues se ha mantenido siempre a la vanguardia de los esfuerzos internacionales para combatir el cambio climático y debe seguir desempeñando ese papel de líder.

En la Figura 10 podemos observar la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera por parte de la UE hasta 2016 y sus objetivos en los próximos años.

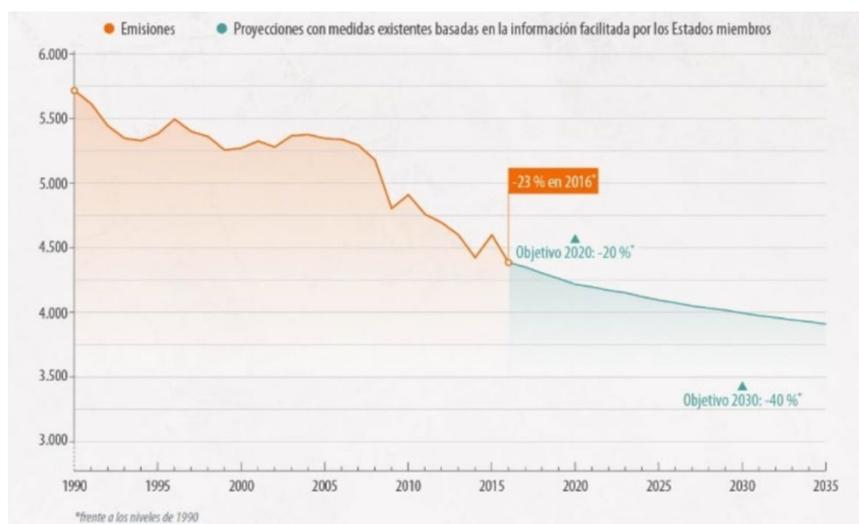


Figura 10: Emisiones gases efecto invernadero (evolución y objetivos). Fuente: Agencia Europea del Medio Ambiente.

4 EMPRESA

La empresa de estudio es una empresa del sector de la alimentación que se dedica a la fabricación y venta de productos alimenticios que tengan su origen en materias procedentes del reino vegetal.

Se trata de una multinacional, por lo que trabaja con gran variedad de productos: desde aromas para panadería o confitería hasta productos para la higiene personal, pasando por bebidas o snacks. Pero también con una gran cantidad de productos.

Esta combinación de variedad y volumen exigen una alta capacidad productiva, lo que a su vez implica grandes consumos energéticos.

Es una empresa con numerosas sedes en 10 países de todo el mundo, entre ellos Estados Unidos, Alemania, Japón y España, cuya sede se encuentra en Valencia y es nuestro objetivo de estudio. En la Figura 11 podemos observar la localización en el mapa con cierto detalle.

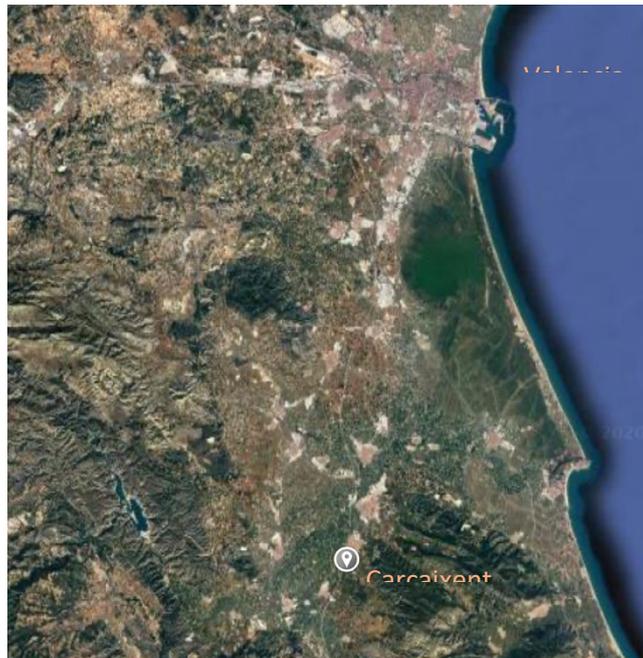


Figura 11: Localización de la empresa. Fuente: Propia.

4.1 ESTUDIO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LA EMPRESA

4.1.1 Gastos

A priori, se pretende generar energía suficiente para suplir los gastos de la empresa, entre los cuales incluiríamos:

- Iluminación
- Acondicionamiento para las personas (aire acondicionado)

- Equipos de sobremesa (ordenadores, impresoras...)
- Cámaras para el producto:
 - Congelación
 - Refrigeración
- Maquinaria:
 - Bombas
 - Envasadoras
 - Equipos de ultrafiltración
 - Planta Centrífuga
 - Parque móvil (carretillas elevadoras)
- Tratamiento de aguas para su uso (planta de ósmosis)
- Tratamiento de aguas residuales (depuradora)

Podemos diferenciar entre los consumos de electricidad destinados al trabajo de las personas, como pueden ser la iluminación, el aire acondicionado o los equipos de sobremesa; los consumos destinados al tratamiento de producto, en los que se influyen las cámaras y la maquinaria; y, finalmente, la energía destinada al tratamiento de aguas, tanto para su uso en la empresa como las aguas residuales.

4.1.2 Consumo energético

Para obtener los datos de consumo de la empresa nos hemos puesto en contacto con un empleado que tiene acceso a ellas y nos las ha facilitado con la condición de garantizar la confidencialidad, pues se trata de datos sensibles. Dicho empleado nos confirmó que el consumo no varía prácticamente de un año a otro, por lo que podemos utilizar las facturas del período de 12 meses más cercano posible.

Actualmente, todo el consumo energético de la empresa es suministrado por la red eléctrica a través de una compañía. El total de energía es de **5.297.878 kWh/año** en el período que hemos tomado para los cálculos: entre mayo de 2019 y mayo de 2020. Los meses de mayor consumo son los del período entre mayo y septiembre, a excepción del mes de agosto, que se corresponde con las vacaciones y, por tanto, la empresa reduce su capacidad de producción.

Podemos estimar pues, un consumo de potencia promedio de **603,13 kW**, el cual es un valor bastante elevado, pero esto se debe a la ya mencionada gran capacidad de producción de la fábrica.

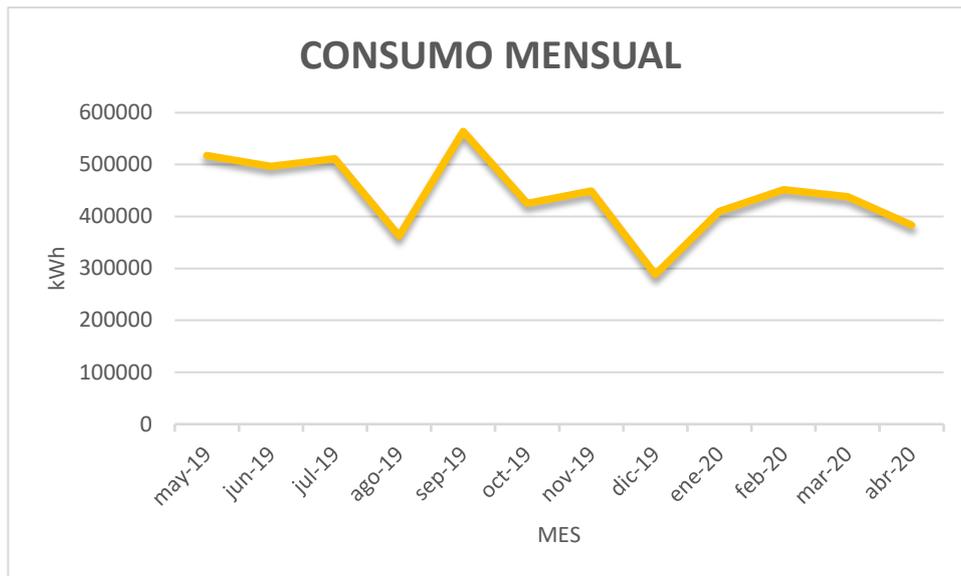


Figura 12: Evolución del consumo energético en un año. Fuente: propia.

4.1.3 Factura eléctrica

Analizando las facturas proporcionadas por la empresa, el gasto total de la energía es de **601.446,64 €** con IVA y de 497.063,32 € sin IVA. Podemos estimar pues, un gasto anual de 600.000 € y, por tanto, un gasto mensual de 50.000 €. (con IVA).

Al tener una facturación dividida en 6 períodos diferentes en función del mes del año y de la hora del día, los gastos mensuales máximos no tienen por qué corresponderse con los consumos mensuales máximos. Junio, julio y septiembre son los meses con una factura más elevada y agosto es el mes que menos gasto supone a la empresa.

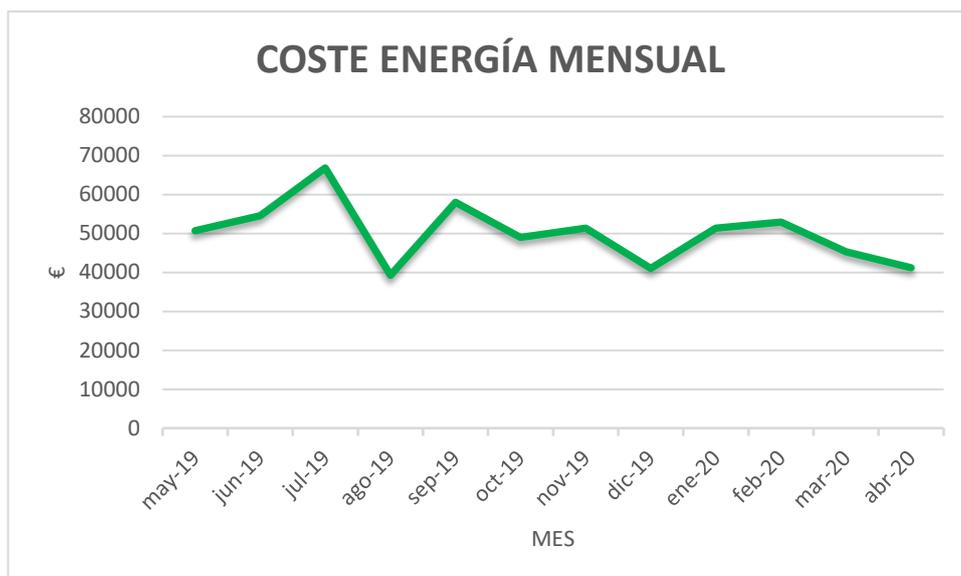


Figura 13: Evolución del coste de la energía (con IVA) en un año. Fuente: propia.

5 EL RECURSO SOLAR

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. (IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014)

5.1 Distribución espectral de la radiación solar

El propio IDEAM expone que la energía solar llega en forma de radiación electromagnética, que son ondas producidas por la aceleración u oscilación de una carga eléctrica. Además, es posible clasificar los diferentes tipos de onda en función de su longitud de onda (m) en el llamado Espectro electromagnético, como se muestra en la Figura 18.

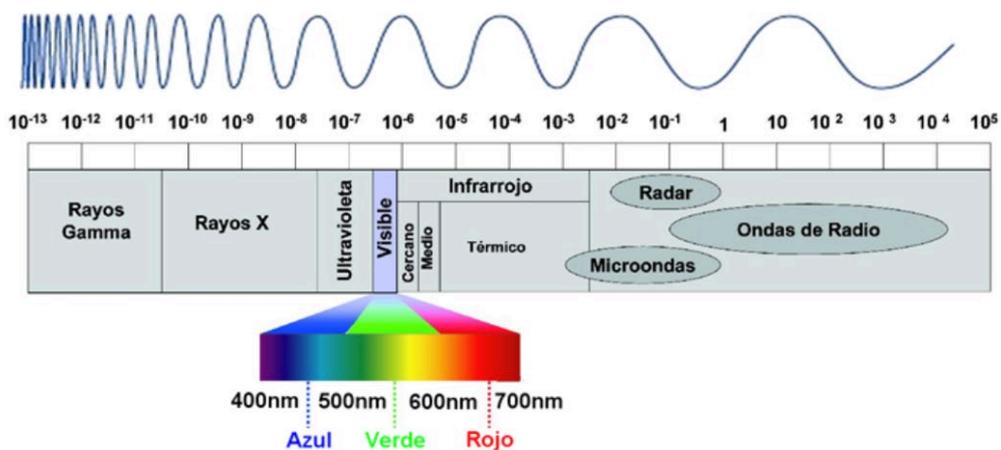


Figura 14: Espectro electromagnético de la radiación solar. Fuente: IDEAM.

Las longitudes de onda del espectro visible suponen una proporción muy baja de todo el espectro electromagnético, y la fracción útil para las instalaciones solares abarca una parte de los infrarrojos y los ultravioleta.

5.2 Tipos de radiación

Según el World Radiation Center (WRC), existen 3 tipos de radiación:

- Directa: rayos que no sufren cambio direccional (proyecta sombras).
- Difusa: rayos que sufren cambios direccionales debido a la reflexión o refracción en los diferentes componentes atmosféricos.
- Albedo: rayos que llegan a la superficie por el choque con componentes colindantes de la propia superficie.

Al conjunto de estos tres tipos de radiación se le conoce como radiación global.

6 DISEÑO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA: CONDICIONES.

Para la realización del diseño de la instalación fotovoltaica se tienen en cuenta los siguientes factores:

1. Empresa
2. Radiación solar en la zona.
3. Comparativa módulos fotovoltaicos.

6.1 EMPRESA

En primer lugar, debemos tener en cuenta, según lo calculado en el punto 4.2, la demanda total energética por año de la empresa: **5.297.878 kWh/año**.

Por otro lado, debemos tener en cuenta la superficie disponible en cubierta para la colocación de módulos fotovoltaicos, para lo cual necesitaremos obtener datos de dimensiones de la fábrica, que son proporcionados por la propia empresa, a través de planos de AutoCAD e imágenes.

En la figura 19 podemos observar las cubiertas de la empresa, con el espacio disponible y el punto de conexión a red, un Centro de Transformación situado dentro de la parcela de la empresa.



Figura 15: Vista de cubiertas de la empresa. Fuente: propia en base a Google Earth.

6.2 RADIACIÓN SOLAR EN LA ZONA

Para la obtención de los datos necesarios en este apartado, recurrimos al PVGIS ("Photovoltaic Geographical Information System"), una plataforma online desarrollada por la Comisión Europea que nos permite obtener los datos de radiación solar en Europa.

Es fundamental conocer la información de radiación solar en el punto en el que está situada la empresa para poder hacer un estudio correcto de la capacidad de generación de energía que tendrán los módulos fotovoltaicos, para lo cual el PVGIS es una fuente de información de acceso público con garantías.

RECURSO SOLAR

Según la norma UNE 206008:2013 IN la hora sol pico es: *“Tiempo en horas en el que una irradiación constante de 1.000 W/m² producirá la misma irradiación que una irradiación variable con el tiempo, que incida sobre la misma superficie durante un periodo de tiempo determinado (normalmente un día). Su valor numérico coincide con la irradiación expresada en KWh”.*

Una vez se introducen los datos requeridos por el PVGIS, este nos proporciona un documento y un conjunto de datos tratables mediante Excel o una aplicación ofimática similar que nos permiten obtener las **Horas Sol Pico (HSP)**, parámetro fundamental para el cálculo de la capacidad energética de las placas. En la Figura 20 vemos un fragmento del documento que nos permite conocer los ángulos de **inclinación** y **orientación** óptimos para los módulos, entre otros datos.

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 39.114, -0.459
 Horizonte: Calculado
 Base de datos: PVGIS-SARAH
 Tecnología FV: Silicio cristalino
 FV instalado: 1 kWp
 Pérdidas sistema: 14 %

Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 36 (opt) °
 Ángulo de azimut: 3 (opt) °
 Producción anual FV: 1596.61 kWh
 Irradiación anual: 2065.92 kWh/m²
 Variación interanual: 47.30 kWh
 Cambios en la producción debido a:
 Ángulo de incidencia: -2.53 %
 Efectos espectrales: 0.64 %
 Temperatura y baja irradiancia: -8.39 %
 Pérdidas totales: -22.72 %

Perfil del horizonte:

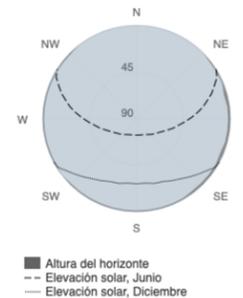


Figura 16: Fragmento del documento generado por el PVGIS. Fuente: propia en base a PVGIS.

En la siguiente tabla podemos observar los datos que se nos proporcionan para la obtención de las HSP, entre los cuales resultan más relevantes el valor **“Hd”** y **“Hm”**, que se refieren a la sumas promedio diarias y mensuales de irradiación global recibida por los módulos del sistema por unidad de superficie (kWh/m²).

Tabla 1: Datos PVGIS para el cálculo de las HSP. Fuente: propia en base a PVGIS.

Mes	E_d	E_m	H(i)_d	H(i)_m	SD_m
Enero	3,72	115,42	4,53	140,29	18,68
Febrero	3,9	109,16	4,8	134,48	16,12
Marzo	4,46	138,35	5,62	174,13	16,18
Abril	4,66	139,66	5,98	179,49	13,33
Mayo	4,85	150,49	6,4	198,29	11,61
Junio	5,02	150,72	6,78	203,33	5,26
Julio	5,15	159,63	7,01	217,37	5,6
Agosto	5,06	156,83	6,82	211,53	7,76
Septiembre	4,6	137,98	6,1	183,14	11,9
Octubre	4,01	124,23	5,18	160,72	15,1
Noviembre	3,55	106,45	4,41	132,3	15,79
Diciembre	3,47	107,69	4,22	130,84	10,12
Promedio anual			5,654	2065,91	

En la Tabla 1 observamos dos valores obtenidos como cálculo a partir de los datos de la tabla Hd y Hm. El primer valor resulta ser el promedio de HSP diarias entre las de todos los meses, y el segundo la suma de las HSP promedio mensuales, que nos da el valor de HSP anuales. Este último cálculo será el que utilizemos para obtener la energía anual de cada módulo posteriormente.

6.3 COMPARATIVA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Tal y como expone “Sunfields Europe”, los paneles solares más interesantes son los que poseen una mayor eficiencia, pues garantiza la máxima potencia por metro cuadrado de superficie. Obviamente, es necesario buscar paneles solares con mucha potencia para obtener la máxima cantidad de energía posible, pero esta debe ir ligada a una alta eficiencia para poder considerarse un panel líder en el mercado. En la siguiente tabla podemos observar los paneles solares con mayor eficiencia en 2019 y 2020.

Tabla 2: Paneles solares con mayor eficiencia (2019-2020). Fuente: Sunfields Europe.

FABRICANTE	MODELO	EFICIENCIA DE PANEL	POTENCIA DEL PANEL	TAMAÑO (largo x ancho)
SunPower	SPR-X22-370 (Ahora MAX3-400)	22.6%	400W	1.690 x 1.046 mm
SunPower	SPR-X22-360 (Ahora MAX3-390)	22.1%	390W	1.690 x 1.046 mm
SunPower	MAX3-370	20.9%	370W	1.690 x 1.046 mm
LG Neon R	LG360Q1C-A5	20.8%	360W	1.700 x 1.016 mm
LG	LG355Q1C-A5	20.6%	355W	1.700 x 1.016 mm
AUO	SunForte PM096B00	20.6%	335W	1.559 x 1.046 mm
SunPower	MAX2-360	20.4%	360W	1.690 x 1.046 mm
AUO	SunForte PM096B00	20.3%	330W	1.559 x 1.046 mm
SunPower	MAX3-350	19.8%	327W	1.690 x 1.046 mm
SHARP	NQ-R256A	19.8%	256W	1.318 x 980 mm
Panasonic	VBHN330S53	19.7%	330W	1.590 x 1.053 mm
Panasonic	VBHN325S53	19.4%	325W	1.590 x 1.053 mm
SunPower	SPR-P19-400	19.4%	400W	2.067 x 998 mm

Basándonos en la tabla, hemos seleccionado los 3 primeros paneles fotovoltaicos, pues son los que presentan una mayor eficiencia, para realizar la comparativa. Estos son los de la marca Sunpower 3, modelo MAX3 con 3 rangos de potencia: 400, 390 y 370 W.

Podemos ver sus principales características eléctricas en la siguiente tabla:

Tabla 3: Comparativa características eléctricas placas. Fuente: propia.

	MAX3-400	MAX3-390	MAX3-370
P_{nom} (W)	400	390	370
Efic (%)	22,6	22,1	20,9
V_{mpp} (V)	65,8	64,5	61,8
I_{mpp} (A)	6,08	6,05	5,99
V_{oc} (V)	75,6	75,3	74,7
I_{sc} (A)	6,58	6,55	6,52

Todas estas características vienen dadas en condiciones estándar de medida (CEM). La norma UNE 206008:2013 IN define estas condiciones como: “Valores de referencia, utilizados en los ensayos de los paneles fotovoltaicos: Irradiancia sobre el plano de captación de 1.000 W/m², temperatura ambiente de 25oC y masa de aire (AM) DE 1,5”.

Como hemos comentado anteriormente, los factores más relevantes a la hora de seleccionar una placa u otra con 2: la **potencia** y la **eficiencia**. En este caso, seleccionamos la placa **Sunpower MAX3-400**, con una eficiencia del 22,6% y una potencia de 400Wp.

Cabe comentar que las 3 placas son muy competitivas, pues todas tienen eficiencias muy elevadas, ya que, según “Sunfields Europe”, las eficiencias medias se sitúan en torno al 16 o 17%.

7 DISEÑO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA: CÁLCULOS.

7.1 CÁLCULO ENERGÍA PRODUCIDA POR MÓDULO FOTOVOLTAICO

Para el cálculo de la energía aportada por cada módulo se aplica la fórmula siguiente:

$$E_{\text{módulo}} = \frac{P_{\text{mpp}} * HSP * PR}{1000} = \frac{400 * 2065,91 * 0,77}{1000} = 636,3 \text{ kWh/año} \quad (1)$$

Término a término:

- **Emódulo:** energía producida por placa en un año (kWh/año).
- **Pmpp:** Potencia pico de la placa, 400W para la seleccionada.
- **HSP:** Horas sol pico anuales, 2065,91 h/año en nuestro caso.
- **PR:** "Performance Ratio", es el coeficiente de rendimiento de la instalación, es decir, tiene en cuenta las pérdidas debido a la variación de temperatura y radiación respecto a los valores estándar tomados, pérdidas por suciedad y otros elementos como cableado, concentradores e inversores. Este valor se toma de la base de datos de PVGIS y corresponde con el 77%.

7.2 CÁLCULO NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para obtener el número de módulos fotovoltaicos necesarios para cubrir la energía demandada se utiliza la siguiente ecuación:

$$N_{\text{módulos}} = \frac{E_{\text{anual}}}{E_{\text{módulo}}} = \frac{5.297.878}{636,3} = 8.326 \text{ módulos} \quad (2)$$

De nuevo, término a término:

- **Nmódulos:** módulos necesarios para cubrir la demanda (módulos).
- **Eanual:** energía demandada por la empresa al año (kWh/año).
- **Emódulo:** energía que es capaz de producir un módulo al año (kWh/(año*módulo)).

A la vista de los resultados obtenidos, el sistema de compensación con vertido de excedentes a la red eléctrica resulta imposible de llevar a cabo. Como ya habíamos planteado esta posibilidad, en adelante plantearemos el sistema de producción sin excedentes, generando la máxima energía posible mediante los módulos fotovoltaicos seleccionados para complementar el consumo de la red eléctrica de la empresa. En el gráfico de la Figura 17 podemos observar esta diferencia.

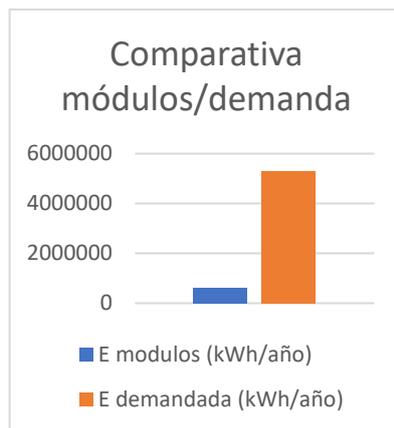


Figura 17: Comparativa entre la capacidad energética de los módulos fotovoltaicos y la demanda de la empresa anualmente. Fuente: propia.

7.3 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN MÓDULOS

Para determinar estos valores, solo debemos estudiar el documento que nos proporciona el PVGIS. Tal y como se puede observar en la Figura 20 del punto 6.2, el ángulo de **orientación** de las placas debe ser de **3°** y el de **inclinación** de **36°**.

Ahora debemos interpretar correctamente estos datos, y para ello nos ceñimos a las definiciones que nos da la norma UNE 206008:2013. La norma nos dice que los ángulos de azimut negativos indican una orientación este, y los positivos una orientación oeste. En nuestro caso, las placas estarán ligeramente orientadas al oeste.

Por otro lado, el ángulo de inclinación indica el que forma la superficie de las placas con el plano horizontal. El valor proporcionado por el PVGIS será el que tomemos para nuestras placas.

7.4 SEPARACIÓN ENTRE MÓDULOS

A la hora de realizar la distribución espacial necesitaremos saber la distancia que se debe guardar entre módulos fotovoltaicos por la posible aparición de sombras entre estos si no se respeta dicha distancia. La distancia nos la da la siguiente fórmula:

$$d = a * \cos(\beta) + \frac{h}{\operatorname{tg}(\alpha)} = 1046 * \cos(36) + \frac{614,554}{\operatorname{tg}(25)} = 2165 \text{ mm} \quad (3)$$

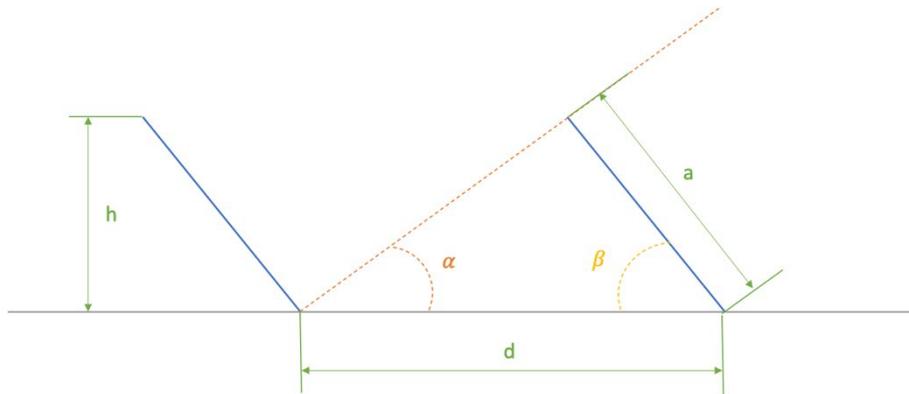


Figura 18: Esquema distancia entre placas. Fuente: propia.

Así pues, la distancia entre placas en paralelo debe ser de **2,165 m** mínimo, mientras que las placas consecutivas pueden estar juntas.

7.5 ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

7.5.1 Definiciones

Lógicamente, la instalación fotovoltaica cuenta con otros elementos que sirven para concentrar y trasladar la energía producida por las placas al Centro de Transformación, que sirve de punto de distribución de la energía que viene de la red eléctrica y cumplirá la misma función con la energía producida por los paneles.

Estos elementos son:

1. **“String”**: conjunto de paneles fotovoltaicos colocados en serie.
2. **Concentrador de “string”**: unifican los “string” para conducir la energía a los inversores, reduciendo también la cantidad de cableado.
3. **Inversor**: elemento encargado de transformar la corriente continua que viene de las placas en corriente alterna para habilitar su uso.
4. **Cableado**: tanto en corriente continua como en alterna, su misión es trasladar la energía producida de las placas a los concentradores, de estos a los inversores y finalmente al Centro de Transformación.

Así pues, el conjunto de la instalación fotovoltaica sigue un esquema similar al de la Figura 22, en el que la energía de los paneles agrupados en “strings” se transporta a través de los cables a los concentradores, que a su vez llevan esa corriente continua a los inversores, quienes finalmente, tras convertirla en corriente alterna, la envían al Centro de Transformación en este caso, para distribuirlo a las zonas de consumo.

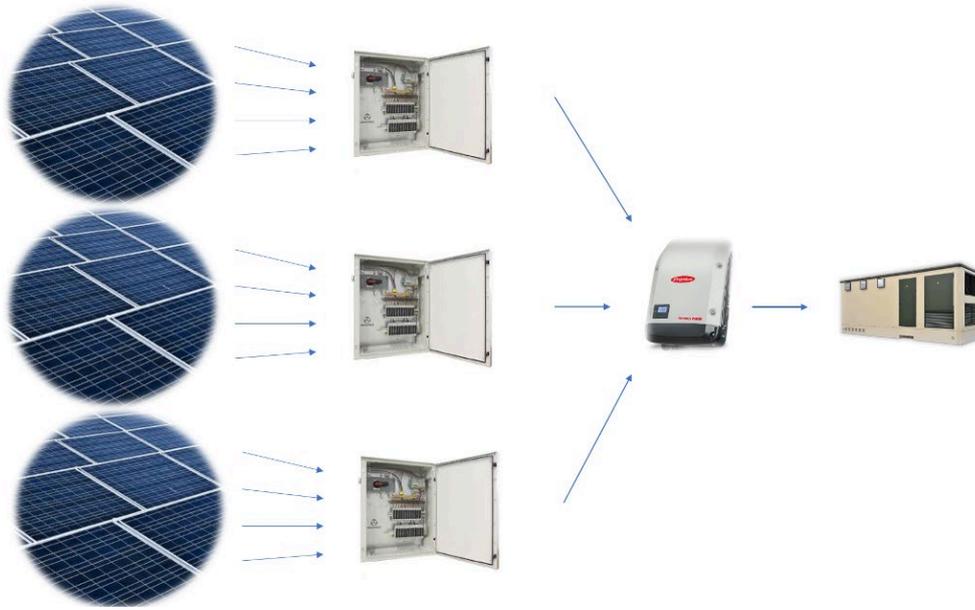


Figura 19: Esquema genérico elementos instalación fotovoltaica. Fuente: propia.

7.5.2 Procedimiento de cálculos

ESTUDIO DE SUPERFICIE

En primer lugar, se debe realizar un estudio de superficie para determinar la cantidad máxima de módulos fotovoltaicos en cubierta. Para ello, se utilizan los planos de AutoCAD facilitados por la empresa y las dimensiones de los módulos fotovoltaicos, utilizando el cálculo de la distancia entre módulos realizado previamente.

En la Figura 23 podemos observar la distribución de módulos fotovoltaicos realizada mediante AutoCAD, estableciendo límites en función de las sombras conociendo las alturas de los edificios gracias a nuestro contacto de la empresa. Las zonas con bordes rojos son zonas con proyección de sombras o espacios en los que hay construcciones en cubierta, por lo que quedan descartadas para la colocación de placas. En el resto de la cubierta se ha respetado una distancia de 50 cm de margen en los bordes y en la arista central de cada cubierta a dos aguas para permitir el paso.

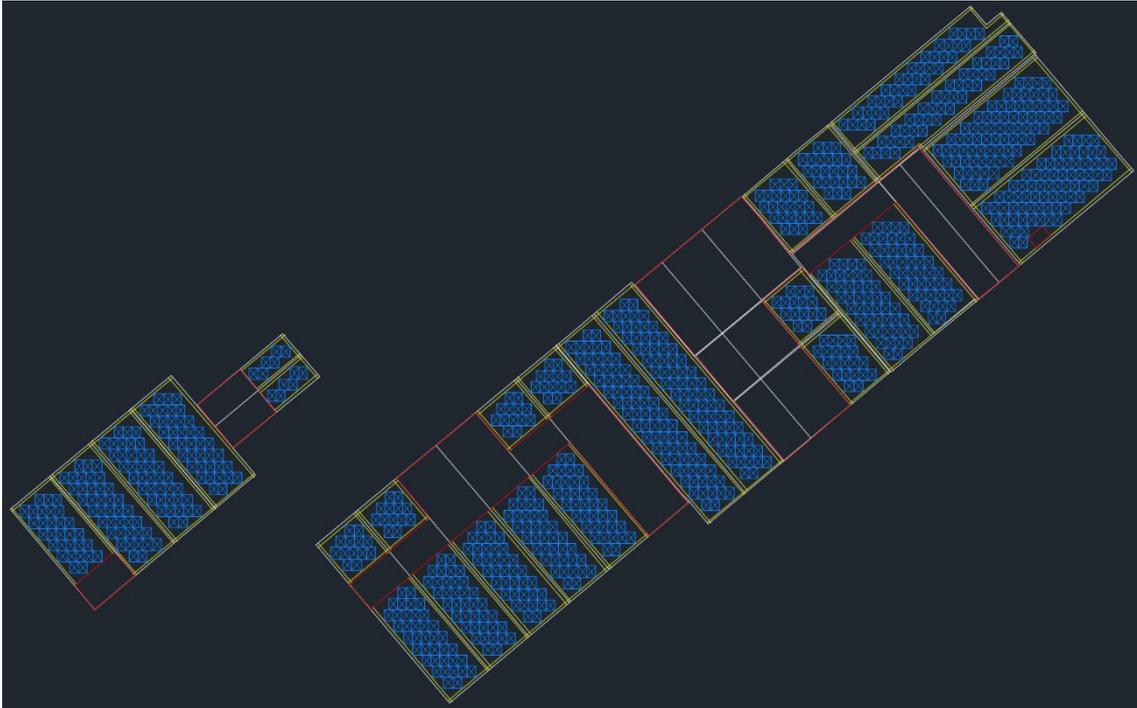


Figura 20: Imagen AutoCAD para obtener en número de placas máximo en cubierta. Fuente: propia.

Gracias a esto, hemos averiguado el número de placas que se pueden colocar como máximo en cubierta, un total de **953**. Ahora somos capaces de calcular la energía anual que se puede producir mediante la siguiente fórmula:

$$E_{\text{módulos}} = E_{\text{módulo}} * N_{\text{módulos}} = 636,3 * 953 = 606.394 \text{ kWh/año} \quad (4)$$

Podemos obtener también la potencia instalada en la planta con la siguiente ecuación:

$$P_{\text{total}} = \frac{P_{\text{módulo}} * N_{\text{módulos}}}{1000} = \frac{400 * 953}{1000} = 381,2 \text{ kW} \quad (5)$$

INVERSORES

Una vez conocida la potencia total instalada, se debe obtener un inversor capaz de tolerar la potencia, o utilizar más de un inversor para evitar el fallo completo del circuito en caso de avería.

Tras una búsqueda de inversores en el mercado con potencia suficiente y precio disponible, encontramos 2 opciones:

- Huawei SUN2000-185 KTL-H1 (185 kW y 10.940,42 €).
- Ingecon Sun 3PLAY 100TL (100 kW y 9.144,99 €).

Ante la baja diferencia de precios y la gran diferencia de potencia tolerables, se escoge la primera opción, pues por un precio aproximadamente un 10% mayor, obtienes casi el doble de potencia.

Huawei SUN2000-185 KTL-H1

Con este modelo sería necesaria la instalación de 3, pues dos inversores tolerarían 370 kW, que no es suficiente para la potencia suministrada por las placas.

Es por este motivo que se planteó la opción de utilizar la placa SUNPOWER MAX3 de 390 W, ya que reduciendo el número de placas a 947 y utilizando este modelo de placa, la potencia total instalada sería de 369 kW, así nos ahorraríamos el precio de un inversor.

No obstante, se elige seguir con la opción de la placa de 400 W y los 3 inversores por tres motivos:

1. Suministrar la máxima potencia posible mediante instalación fotovoltaica.
2. La mayor eficiencia de las placas implica una mayor rentabilidad económica, por lo que cabe la posibilidad que lo ahorrado por instalar un inversor menos, se pierda en eficiencia de placas, pues el número de placas es muy alto.
3. Ante la posibilidad de una ampliación del terreno, si se llevara a cabo la instalación en estudio y la empresa quisiera instalar más módulos fotovoltaicos, se podría utilizar todavía el tercer inversor.

A continuación, podemos observar las principales características del inversor seleccionado:

Tabla 4: Características de entrada del Inversor Huawei SUN2000-185 KTL-H1. Fuente: propia.

INPUT	
$V_{\text{máx}}$ (V)	1500
$I_{\text{máx}}$ MPPT (A)	26
I_{sc} MPPT (A)	40
V_{start} (V)	550
MPP V_{range} (V)	500-1500
V_{nom} input (V)	1080
N of inputs	18

CONCENTRADORES DE “STRINGS”

Hemos seleccionado un inversor que tolera hasta 1500 V, por lo que vamos a buscar concentradores que toleren tensiones similares, para poder hacer los “strings” con el máximo número de placas posible.

En el mercado hemos encontrado concentradores que toleran hasta 1500 V con diferente número de entradas de la marca ABB: 16, 24 o incluso 32 entradas en paralelo. En primer lugar, probamos con los concentradores de 16 entradas, que tiene las siguientes características:

Tabla 5: Características eléctricas concentrador ABB STRINGBOX DC 16 str 1500V 1F. Fuente: propia.

INPUT	
$V_{\text{máx}}$ (V)	1500
$I_{\text{máx}}$ (A)	160
N of inputs	16

Calculamos el número de placas que podemos colocar por “string” de la siguiente manera:

$$\frac{N_{\text{Placas}}}{\text{string}} = \frac{V_{\text{max concentrador}}}{V_{\text{oc placa}}} = \frac{1500}{75,6} = 19,84 \text{ placas} \quad (6)$$

Con lo cual, como máximo podríamos colocar 19 módulos por “string”. A continuación, calculamos el número mínimo de “strings” necesarios para las 953 placas:

$$N_{\text{strings}} = \frac{N_{\text{placas}}}{N_{\text{placas/string}}} = \frac{953}{19} = 50 \text{ strings} \quad (7)$$

Esto quiere decir que, con 4 concentradores de 16 entradas, es posible que pudiéramos abarcar la totalidad de placas. No obstante, existe también la limitación de corriente en cada concentrador. Si tiene una $I_{\text{máx}}$ de 160 A y 16 inputs, es fácil deducir que, como máximo, puede haber 10 A por cada entrada. Esto no sería ningún problema pues la corriente máxima es la I_{sc} de nuestra placa, que tiene un valor de 6,58 A. Seleccionamos pues el concentrador **ABB STRINGBOX DC 16 str 1500V 1F**, con un precio de 21,69 €.

No obstante, ante la distribución espaciada de las placas en las diferentes cubiertas, teniendo en cuenta el bajo precio de los concentradores y ante la posibilidad de una distribución de concentradores y cableado muy compleja, se decide aumentar el número de concentradores, haciendo un reparto por zonas de cubierta con el fin de simplificar la instalación. Para ello, se utilizan de nuevo los planos de AutoCAD y se busca diseñar “strings” con un número de placas similar a 19 siempre que sea posible. En la Figura 24.a podemos observar la distribución resultante y en la Figura 24.b un detalle de el concentrador situado más al sur, en el que podemos apreciar el cableado de los “strings”.

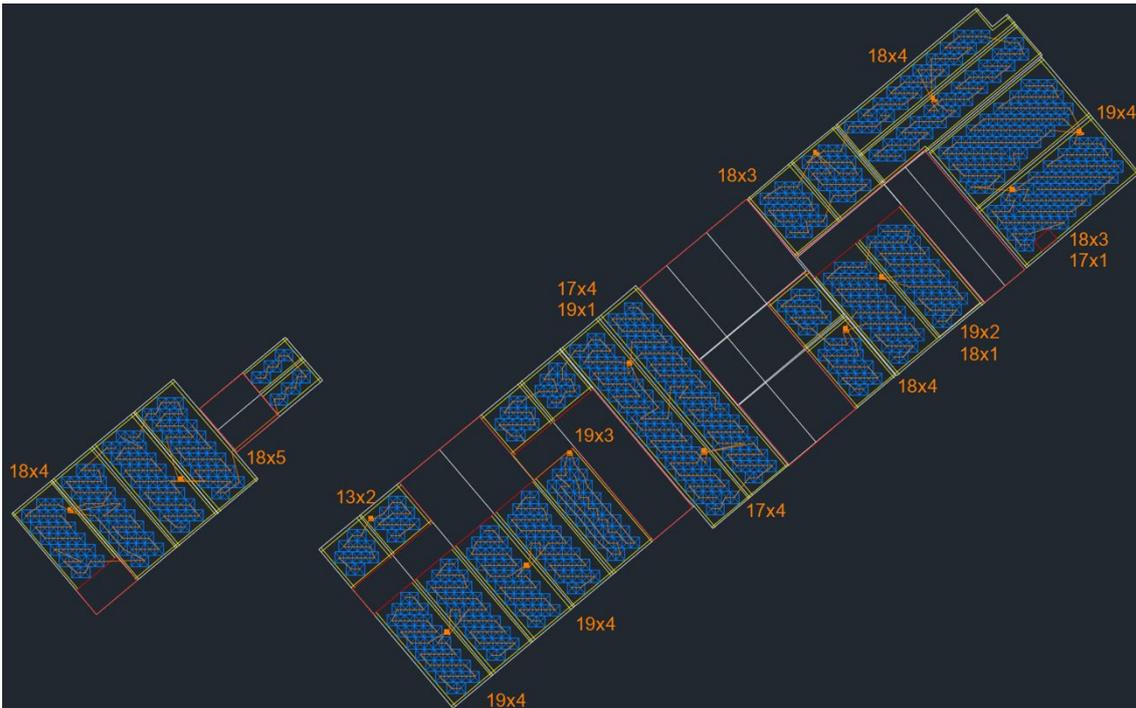


Figura 21.a: Reparto de los concentradores en la totalidad de cubierta. Fuente: propia.

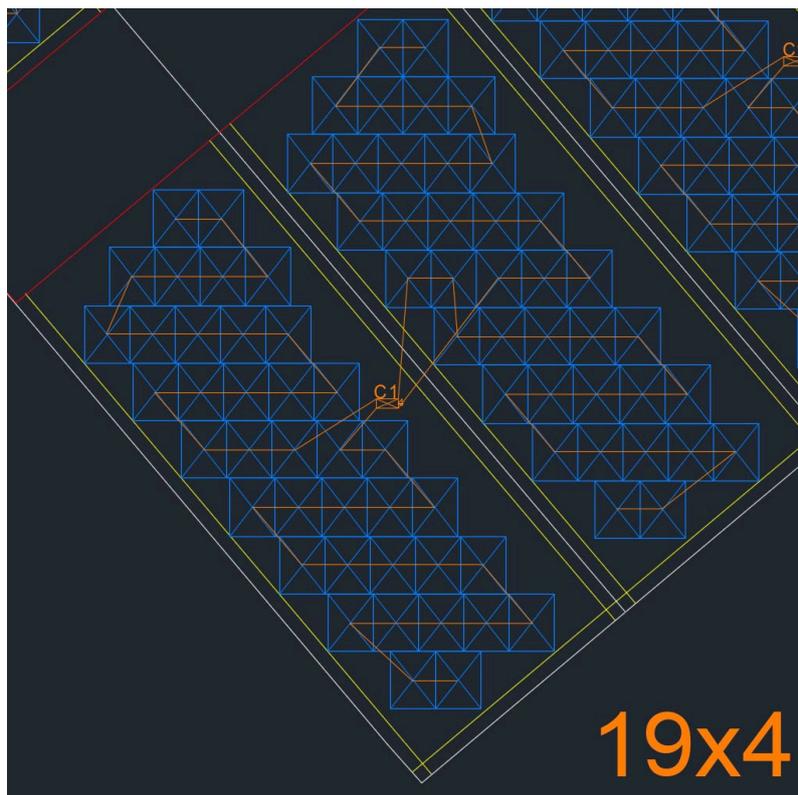


Figura 21.b: Detalle del concentrador situado más al sur, el C1.4. Fuente: propia.

En la imagen apreciamos el cableado a través de las placas, que acaba desembocando en el concentrador. El texto “19x4” nos indica que al concentrador llegan 4 “strings” de 19 placas cada uno.

De este reparto de concentradores resultan un total de **14**, de los que saldrían cables a los inversores, pero, buscando de nuevo la simplicidad de la instalación en cuanto a cableado, se utilizarán concentradores de segundo nivel. Para la selección de los concentradores de segundo nivel se tienen en cuenta, de nuevo, los de la marca ABB mencionados anteriormente. De este modo, el esquema de la instalación sería el siguiente:

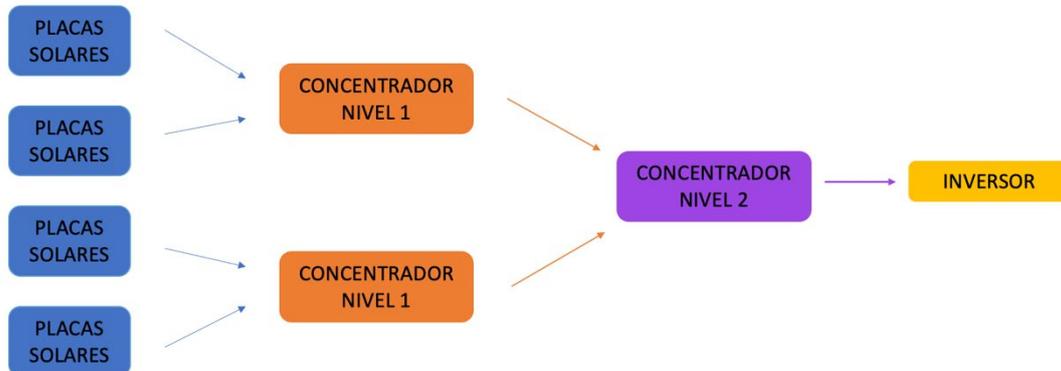


Figura 22: Esquema de la instalación tras introducir concentrador de segundo nivel. Fuente: propia.

Ahora realizamos el mismo procedimiento, pero con concentradores de segundo nivel, partiendo los cables de los concentradores de primer nivel. Teniendo en cuenta que contamos con 3 inversores, la intención es colocar 3 concentradores de segundo nivel, cada uno desembocará en un inversor, garantizando así la independencia de las ramas de la instalación en caso de avería. Antes de comenzar con la distribución, debemos comprobar que no superaremos los límites de tensión y corriente del concentrador **ABB STRINGBOX DC 16 str 1500V 1F**, que tiene las características ya mostradas en la Tabla 5.

Sabemos que no superaremos las limitaciones de tensión, pues no hay mas de 19 placas en cada “string”, por lo que solo debemos comprobar las limitaciones de corriente. Elaboramos una tabla en la que se puede observar la corriente que circula por cada concentrador de nivel 1:

Tabla 6: Corrientes que circulan por los concentradores de nivel 1. Fuente: propia.

	Strings	I _{max} (A)
C1.1	4	24,32
C1.2	5	30,4
C1.3	2	12,16
C1.4	4	24,32
C1.5	4	24,32
C1.6	3	18,24
C1.7	5	30,4
C1.8	4	24,32
C1.9	4	24,32
C1.10	3	18,24
C1.11	3	18,24
C1.12	4	24,32
C1.13	4	24,32
C1.14	4	24,32

Puesto que hemos optado por utilizar 3 concentradores de nivel 2, simplemente debemos realizar la distribución teniendo en cuenta que no pueden entrar más de **160 A** a cada uno.

Es ahora cuando se utiliza de nuevo la herramienta AutoCAD, para diseñar una colocación de concentradores razonable, evitando acumular entradas en uno de ellos. A partir de la situación previa, se propone la siguiente distribución:

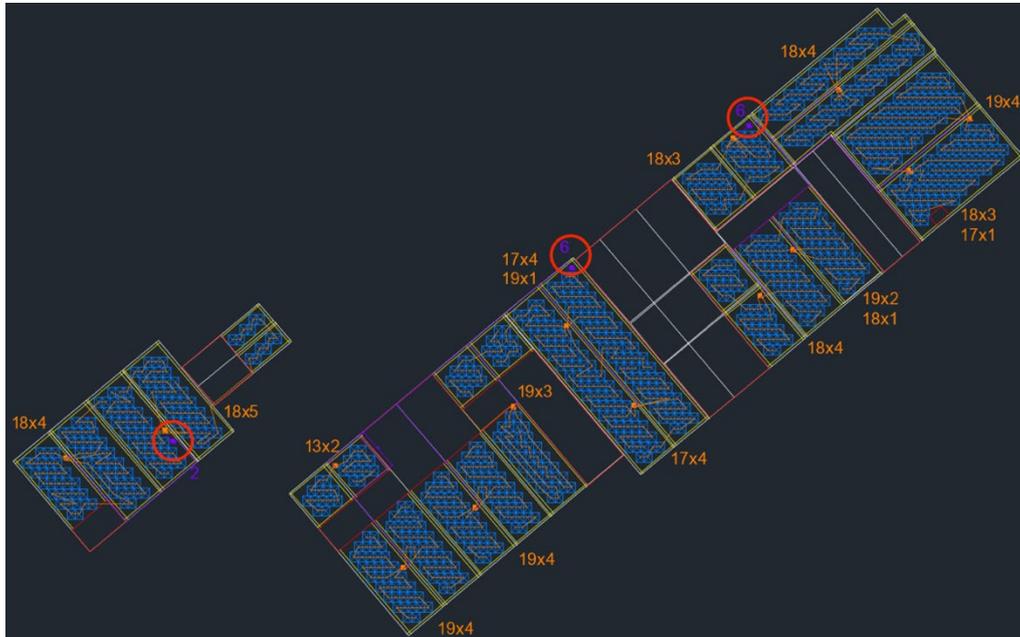


Figura 23: Colocación concentradores de nivel 2. Fuente: propia

Se ha propuesto una distribución en la que, los dos concentradores de nivel 1 situados más al oeste de unan en el concentrador de nivel 2 más próximo a ellos; los 6 concentradores de nivel 1 situados en el centro de la imagen deriven en el concentrador central; y los 6 concentradores de la zona este acaben en el concentrador de nivel 2 situado más al norte. Los concentradores de nivel 2 se encuentran rodeados por círculos rojos, y el número morado señala las entradas que tiene cada concentrador.

En la siguiente tabla se muestra la comprobación de que ninguno de los concentradores de nivel 2 recibe una corriente mayor a la que puede soportar (160 A):

Tabla 7: Concentradores de nivel 1 asignados a cada concentrador de nivel 2. Fuente: propia.

	Strings	I _{max} (A)		Strings	I _{max} (A)
C1.1	4	24,32	C2.1	2	54,72
C1.2	5	30,4			
C1.3	2	12,16	C2.2	6	133,76
C1.4	4	24,32			
C1.5	4	24,32			
C1.6	3	18,24			
C1.7	5	30,4			
C1.8	4	24,32			
C1.9	4	24,32	C2.3	6	133,76
C1.10	3	18,24			
C1.11	3	18,24			
C1.12	4	24,32			
C1.13	4	24,32			
C1.14	4	24,32			

Con esto, concluimos que será necesarios **3** concentradores modelo **ABB STRINGBOX DC 16 str 1500V 1F** para actuar como concentradores de 2º nivel. En total serán necesario **17, 14** de primer nivel y **3** de segundo nivel, siendo todos del mismo modelo.

El sistema de nomenclatura de los concentradores es para todos el mismo, CX.Y:

- **X:** hace referencia al nivel del concentrador.
- **Y:** hace referencia al número asignado al concentrador.

CABLEADO

En primer lugar, es necesario determinar los siguientes factores:

1. **Material conductor.**
2. **Material del aislamiento.**
3. **Tensión asignada.**

Material conductor: existen dos opciones, el cobre o el aluminio. Según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), el cobre tiene menor resistividad que el aluminio, por lo que es mejor conductor. El aluminio es un material más barato, pero es necesaria una sección mayor para cubrir una misma caída de tensión. Lo mismo sucede para el criterio térmico, teniendo ambos materiales con secciones iguales, el cobre soportará mejor las altas temperaturas que el aluminio.

Conociendo esto y, a pesar de que el precio del cobre es mayor que el del aluminio, se elige el cobre como conductor, pues cumple mejor dicha función.

Material de aislamiento: los cables de cobre tendrán aislamiento de polietileno reticulado (XLPE), ya que soporta una intensidad superior, dado una misma sección, que el aislamiento de

PVC; como se puede apreciar en las tablas de intensidades admisibles de la norma UNE 20460 5.523:2004 donde se muestra la intensidad admisible de cada sección dado el tipo de cable (trifásico o monofásico) y su aislamiento (XLPE o PVC).

Tensión asignada: de nuevo, según el REBT ITC-BT-20, las tensiones asignadas no serán inferiores a 1kV, por lo que es necesario que el material de aislamiento sea polietileno reticulado (XLPE).

Para el cálculo de las secciones de cable de cada tramo, se aplicará el **criterio térmico** y el **criterio de caída de tensión**. (José Roger Folch, 2010)

Criterio térmico: para poder aplicar este criterio de cálculo, es necesario recurrir al REBT ITC-BT-19, en el que encontramos las tablas y los datos necesarios para calcular las secciones de los conductores. Para ello utilizaremos las diferentes tablas del documento A52-B2, en la que tendremos en cuenta que se trata de cables multiconductores dentro de zócalos acanalados; A52-1 para seleccionar el valor de sección; A52-D1, en la que tomamos una temperatura ambiente de 60°C (K_T); A52-E1, en la que tendremos en cuenta que hay agrupaciones de 5 y 6 cables (K_A), que nos ayudarán a obtener los factores de corrección para la tabla A52-1. El factor de corrección K_R no se tendrá en cuenta por no estar enterrados los cables. Además, se tendrá en cuenta que los cables monofásicos se corresponden con el XLPE2 y los trifásicos con el XLPE3. Teniendo en cuenta todos estos criterios, elaboramos una tabla con los valores de los factores de corrección en función de las condiciones de cada tramo:

Tabla 8: Cálculo de las secciones en función del criterio térmico. Fuente: propia.

CRITERIO TÉRMICO								
(60°C, max 6 conductores juntos y no esta enterrado)B2 cable multiconductor zocalos acanalados								
TRAMO	K_a	K_r	K_t	I_z (A)	I_{tablas} (A)	Monofásica	Trifásica	SECCIÓN (mm ²)
PLACAS-C1.1	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.2	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.3	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.4	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.5	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.6	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.7	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.8	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.9	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.10	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.11	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.12	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.13	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
PLACAS-C1.14	1	1	0,71	8,56	19,5	X		1,5
C1.1-C2.1	1	1	0,71	34,25	36	X		4
C1.2-C2.1	1	1	0,71	42,82	46	X		6
C1.3-C2.2	0,7	1	0,71	24,47	27	X		2,5
C1.4-C2.2	0,7	1	0,71	48,93	63	X		16
C1.5-C2.2	0,7	1	0,71	48,93	63	X		16
C1.6-C2.2	0,7	1	0,71	36,70	46	X		6
C1.7-C2.2	0,7	1	0,71	61,17	63	X		16
C1.8-C2.2	0,7	1	0,71	48,93	63	X		16
C1.9-C2.3	0,775	1	0,71	44,20	46	X		6
C1.10-C2.3	0,775	1	0,71	33,15	36	X		4
C1.11-C2.3	1	1	0,71	25,69	27	X		2,5
C1.12-C2.3	0,775	1	0,71	44,20	46	X		6
C1.13-C2.3	0,775	1	0,71	44,20	46	X		6
C1.14-C2.3	0,775	1	0,71	44,20	46	X		6
C2.1-INV	0,8	1	0,71	96,34	110	X		25
C2.2-INV	0,8	1	0,71	235,49	258	X		95
C2.3-INV	0,8	1	0,71	235,49	258	X		95
INV1	1	1	0,71	96,34	101		X	25
INV2	1	1	0,71	235,49	238		X	95
INV3	1	1	0,71	235,49	238		X	95

Criterio de caída de tensión: La intención es colocar los inversores y los concentradores de segundo nivel lo más próximos al Centro de Transformación. Los tramos correspondientes al cableado previo a los inversores son de corriente monofásica, mientras que los tramos posteriores a estos son de trifásica. Existe una ecuación para los tramos de corriente monofásica (8) y otra para trifásica (9), siendo los términos de la ecuación los mismo, a excepción de una constante:

$$\varepsilon = \frac{L * P * \rho}{S * U^2} * 100 \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{L * P * \rho}{S * U^2} * 200 \quad (8)$$

Término a término:

- ε : caída de tensión porcentual (%).
- L : longitud del tramo (m).
- ρ : resistividad del material ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
- P : potencia que soporta el cable.
- S : sección (mm^2).
- U : tensión (V).

Según el REBT, en concreto el ITC-BT-19, indica que la sección de los conductores debe ser tal que, en conjunto, la caída de tensión no sea superior al 3%. Así pues, aplicando las fórmulas mencionadas anteriormente en los diferentes tramos, calculamos la caída de tensión en cada tramo. Después, conociendo el orden de los tramos y utilizando el peor de los escenarios (en caso de que varios cables lleguen a un concentrador, se selecciona el tramo con mayor caída de tensión), obtenemos la caída de tensión acumulada para comprobar si se cumple la condición.

En la siguiente tabla, podemos observar la comprobación del criterio y las modificaciones realizadas para cumplir el REBT. Solo ha sido necesario modificar la sección del cable entre el C2.1 y el Inversor 1, pues es el tramo más largo con una elevada potencia de continua y se produce una mayor caída.

Tabla 9: Cálculo de las secciones en función del criterio de caída de tensión. Fuente: propia.

CRITERIO CAÍDA DE TENSIÓN										
< 3% Resist Cu (60°C) =0,01995										
Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)	Longitud (m)	L acumulada (m)	Caída %	Caída % acum	% Caída max	SECCIÓN (mm2)	Comprobación tramo	Comprobación total
1184,4	6,08	7201,15	51,48	51,48	0,70	0,70	3	1,5	0,70	0,70
1184,4	6,08	7201,15	62,45	62,45	0,85	0,85	3	1,5	0,85	0,85
1250,2	6,08	7601,22	28,26	28,26	0,37	0,37	3	1,5	0,37	0,37
1250,2	6,08	7601,22	40,45	40,45	0,52	0,52	3	1,5	0,52	0,52
1250,2	6,08	7601,22	40,45	40,45	0,52	0,52	3	1,5	0,52	0,52
1250,2	6,08	7601,22	62,3	62,3	0,81	0,81	3	1,5	0,81	0,81
1250,2	6,08	7601,22	41,2	41,2	0,53	0,53	3	1,5	0,53	0,53
1250,2	6,08	7601,22	43,97	43,97	0,57	0,57	3	1,5	0,57	0,57
1250,2	6,08	7601,22	38,33	38,33	0,50	0,50	3	1,5	0,50	0,50
1250,2	6,08	7601,22	37,55	37,55	0,49	0,49	3	1,5	0,49	0,49
1250,2	6,08	7601,22	42,17	42,17	0,55	0,55	3	1,5	0,55	0,55
1250,2	6,08	7601,22	43,78	43,78	0,57	0,57	3	1,5	0,57	0,57
1250,2	6,08	7601,22	39,26	39,26	0,51	0,51	3	1,5	0,51	0,51
1250,2	6,08	7601,22	38,95	38,95	0,50	0,50	3	1,5	0,50	0,50
1184,4	24,32	28804,61	46,29	108,74	0,95	1,80	3	4	0,95	1,80
1184,4	30,4	36005,76	2,43	64,88	0,04	0,89	3	6	0,04	0,74
1250,2	12,16	15202,43	81,05	125,02	1,26	2,06	3	2,5	1,26	2,06
1250,2	24,32	30404,86	105,14	149,11	0,51	1,32	3	16	0,51	1,32
1250,2	24,32	30404,86	85,36	129,33	0,41	1,22	3	16	0,41	1,22
1250,2	18,24	22803,65	53,27	97,24	0,52	1,32	3	6	0,52	1,32
1250,2	30,4	38006,08	21,02	64,99	0,13	0,93	3	16	0,13	0,93
1250,2	24,32	30404,86	43,23	87,2	0,21	1,02	3	16	0,21	1,02
1250,2	24,32	30404,86	57,87	101,65	0,75	1,31	3	6	0,75	1,31
1250,2	18,24	22803,65	42,94	86,72	0,62	1,19	3	4	0,62	1,11
1250,2	18,24	22803,65	4,09	47,87	0,10	0,66	3	2,5	0,10	0,58
1250,2	24,32	30404,86	25,22	69	0,33	0,89	3	6	0,33	0,81
1250,2	24,32	30404,86	53,76	97,54	0,70	1,26	3	6	0,70	1,18
1250,2	24,32	30404,86	70,56	114,34	0,91	1,48	3	6	0,91	1,40
1184,4	54,72	64810,37	168,47	277,21	1,24	3,04	3	35	0,89	2,69
1250,2	133,76	167226,75	61,65	210,76	0,28	2,34	3	95	0,28	2,34
1250,2	133,76	167226,75	27,93	142,27	0,13	1,60	3	95	0,13	1,44
400	54,72	21888,00	3	280,21	0,03	3,08	3	25	0,03	2,72
400	133,76	53504,00	3	280,21	0,02	2,36	3	95	0,02	2,36
400	133,76	53504,00	3	280,21	0,02	1,63	3	95	0,02	1,46

La parte izquierda de la columna verde se corresponde con las caídas de tensión en los tramos con las secciones calculadas por el criterio térmico. En base a eso, se modifica la sección ya comentada y se comprueba el cumplimiento del criterio de caída de tensión, obteniendo así las secciones de manera definitiva. Finalmente, los cables necesarios y la cantidad de cada uno vienen reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 10: Cables necesarios para la instalación fotovoltaica. Fuente: propia.

Sección (mm2)	Cantidad
1,5 (monofásico)	14
2,5 (monofásico)	2
4 (monofásico)	2
6 (monofásico)	6
16 (monofásico)	4
25 (trifásico)	1
35 (monofásico)	1
95 (monofásico)	2
95 (trifásico)	2

HORNACINA

Como elemento adicional de seguridad, se estudia la instalación de hornacinas que cubran tanto los concentradores de primer y segundo nivel como los inversores. Se realiza una búsqueda en el mercado de una que tenga espacio suficiente, en este caso se selecciona el modelo de la empresa Adelec: APL 60 CON TMF 10, con las principales características detalladas en la tabla siguiente:

Tabla 11: Características hornacina Adelec APL 60 con TMF 10. Fuente: propia.

HORNACINA PROTECCIÓN		
Dimensiones (mm)	1302x2225x450	WxHxD
Precio (€)	3804	

CANALIZACIONES

Puesto que los cableados se situarán en cubierta o al aire libre, se propone la compra de elementos que sirvan de protección adicional tanto para el conductor como para las personas del propio cable. Según el REBT ITC-BT-21, las canalizaciones en superficie deben ser rígidas o ligeramente curvables. Seleccionamos las canalizaciones rígidas, ahora debemos elegir el tipo de canalización.

Según el REBT ITC-BT-20, analizando las Tablas 1 y 2, podemos apreciar que los tubos sirven para cables con cubierta y en montaje superficial, por lo que elegimos este tipo de canalización.

Encontramos un tubo modelo AISCAN-EHF rígido de 25 mm de diámetro que nos permite llevar todos los cables y las agrupaciones de estos que se producen de camino a los concentradores, en la Tabla 12 observamos sus principales características.

Tabla 12: Características tubo rígido 25 mm diámetro.

TUBOS CANALIZACIONES		
Tubo	Diámetro	Precio (€/m)
TUBO AISCAN-EHF	25	1,94

8 PRESUPUESTO

8.1 DESCRIPCIÓN UNIDADES DE OBRA

Tabla 13: Cuadro de Precios Descompuesto: módulo fotovoltaico. Fuente: Propia.

MÓDULO FOTOVOLTAICO				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
u	Módulo fotovoltaico Sunpower 3 Maxeon 400W Módulo fotovoltaico monocristalino de alto rendimiento con 400Wp de potencia y 65,8 V de tensión. Incluye estructura de soporte. Totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	1,00	16,58 €	16,58 €
h	Especialista electricidad	1,00	14,10 €	14,10 €
h	Oficial 1º construcción	0,20	15,77 €	3,15 €
u	Módulo fotovoltaico con estructura	1,00	379,00 €	379,00 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	412,83 €	8,26 €
Total				421,09 €

Tabla 14: Cuadro de Precios Descompuesto: inversor solar. Fuente: Propia.

INVERSOR SOLAR				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
u	Inversor Huawei SUN 2000-185KTL-H1 Inversor de potencia de entrada de 185kW. Rango de tensión de entrada de 500 - 1500 V e intensidad máxima 720 A. Tensión de salida de 400 V. Protecciones incluidas. Totalmente instalado y en correcto funcionamiento			
h	Oficial 1º electricidad	0,20	16,58 €	3,32 €
u	Inversor con protecciones	1,00	10.940,42 €	10.940,42 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	10.943,74 €	218,87 €
Total				11.162,61 €

Tabla 15: Cuadro de Precios Descompuesto: concentrador solar. Fuente: Propia.

CONCENTRADOR SOLAR				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
u	STRINGBOX DC 16 "strings" 1500V 1F 15A Concentrador de "strings" de 16 entradas con tensión máxima de entrada de 1500 V. Protecciones incluidas. Totalmente instalado y en correcto funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,20	16,58 €	3,32 €
u	Concentrador con protecciones	1,00	21,69 €	21,69 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	25,01 €	0,50 €
Total				25,51 €

Tabla 16: Cuadro de Precios Descompuesto: hornacina. Fuente: Propia.

HORNACINA				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
u	Adelec APL 60 CON TMF 10 400/400 A Armario prefabricado de GRC pintado con puertas de chapa de acero galvanizado y cierre mediante maneta de tres puntos.			
h	Oficial 1º construcción	1,00	15,77 €	15,77 €
u	Nicho polígono prefabricado	1,00	3.804,00 €	3.804,00 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	3.819,77 €	76,40 €
Total				3.896,17 €

Tabla 17: Cuadro de Precios Descompuesto: tubo canalización. Fuente: Propia.

TUBO CANALIZACIÓN 25 mm				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	Tubo Aiscan EHF 25 mm Tubo rígido de 25 mm de diámetro libre de halógenos para canalizaciones.			
m	Tubo rígido 25 mm	1,05	1,94 €	2,04 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	2,04 €	0,04 €
Total				2,08 €

Tabla 18: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 1,5 mm². Fuente: Propia.

CABLE 1,5 mm ²				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	Cable Energy RV-K 0,6/1kV flexible 4G 1,5 mm ² Suministro y tendido de línea monofásica formada por un cable RV-K multiconductor (fase + neutro) de 0,6/1 kV de tensión nominal. Formado por conductores de cobre de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC. Totalmente instalado, conectado y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,08	16,58 €	1,33 €
u	Especialista electricidad	0,04	14,10 €	0,56 €
m	Cable Cu RV-K monofásico 1,5 mm ²	1,05	0,80 €	0,84 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	2,73 €	0,05 €
Total				2,79 €

Tabla 19: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 2,5 mm². Fuente: Propia.

CABLE 2,5 mm ²				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	Cable Energy RV-K 0,6/1kV flexible 4G 2,5 mm ² Suministro y tendido de línea monofásica formada por un cable RV-K multiconductor (fase + neutro) de 0,6/1 kV de tensión nominal. Formado por conductores de cobre de 2,5 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC. Totalmente instalado, conectado y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,08	16,58 €	1,33 €
u	Especialista electricidad	0,04	14,10 €	0,56 €
m	Cable Cu RV-K monofásico 2,5 mm ²	1,05	1,15 €	1,21 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	3,10 €	0,06 €
Total				3,16 €

Tabla 20: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 4 mm². Fuente: Propia.

CABLE 4 mm2				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	Cable Energy RV-K 0,6/1kV flexible 4G 4 mm2 Suministro y tendido de línea monofásica formada por un cable RV-K multiconductor (fase + neutro) de 0,6/1 kV de tensión nominal. Formado por conductores de cobre de 4 mm2 de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC. Totalmente instalado, conectado y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,08	16,58 €	1,33 €
u	Especialista electricidad	0,04	14,10 €	0,56 €
m	Cable Cu RV-K monofásico 4 mm2	1,05	2,95 €	3,10 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	4,99 €	0,10 €
Total				5,09 €

Tabla 21: Cuadro de Precios Descompuesto cable 6 mm². Fuente: Propia.

CABLE 6 mm2				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	Cable Energy RV-K 0,6/1kV flexible 4G 6 mm2 Suministro y tendido de línea monofásica formada por un cable RV-K multiconductor (fase + neutro) de 0,6/1 kV de tensión nominal. Formado por conductores de cobre de 6 mm2 de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC. Totalmente instalado, conectado y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,08	16,58 €	1,33 €
u	Especialista electricidad	0,04	14,10 €	0,56 €
m	Cable Cu RV-K monofásico 6 mm2	1,05	3,90 €	4,10 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	5,99 €	0,12 €
Total				6,11 €

Tabla 22: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 16mm². Fuente: Propia.

CABLE 16 mm2				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	Cable RV-K 0,6/1kV flexible 4G 16 mm2 Suministro y tendido de línea monofásica formada por un cable RV-K multiconductor (fase + neutro) de 0,6/1 kV de tensión nominal. Formado por conductores de cobre de 16 mm2 de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC. Totalmente instalado, conectado y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,08	16,58 €	1,33 €
u	Especialista electricidad	0,04	14,10 €	0,56 €
m	Cable Cu RV-K monofásico 16 mm2	1,05	5,27 €	5,53 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	7,42 €	0,15 €
Total				7,57 €

Tabla 23: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 25 mm². Fuente: Propia.

CABLE 25 mm ²				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	Cable RV-K 0,6/1kV flexible 4G 25 mm ² Suministro y tendido de línea trifásica formada por un cable RV-K multiconductor (3 fases + neutro) de 0,6/1 kV de tensión nominal. Formado por conductores de cobre de 25 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC. Totalmente instalado, conectado y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,12	16,58 €	1,99 €
u	Especialista electricidad	0,06	14,10 €	0,85 €
m	Cable Cu RV-K trifásico 25 mm ²	1,05	10,89 €	11,43 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	14,27 €	0,29 €
Total				14,56 €

Tabla 24: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 35 mm². Fuente: Propia.

CABLE 35 mm ²				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	Cable RV-K 0,6/1kV flexible 4G 35 mm ² Suministro y tendido de línea monofásica formada por un cable RV-K multiconductor (fase + neutro) de 0,6/1 kV de tensión nominal. Formado por conductores de cobre de 35 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC. Totalmente instalado, conectado y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,08	16,58 €	1,33 €
u	Especialista electricidad	0,04	14,10 €	0,56 €
m	Cable Cu RV-K monofásico 35 mm ²	1,05	8,74 €	9,18 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	11,07 €	0,22 €
Total				11,29 €

Tabla 25: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 95 mm² monofásico. Fuente: Propia.

CABLE 95 mm ²				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	Cable RV-K 0,6/1kV flexible 4G 95 mm ² Suministro y tendido de línea monofásica formada por un cable RV-K multiconductor (fase + neutro) de 0,6/1 kV de tensión nominal. Formado por conductores de cobre de 95 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC. Totalmente instalado, conectado y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,08	16,58 €	1,33 €
u	Especialista electricidad	0,04	14,10 €	0,56 €
m	Cable Cu RV-K monofásico 95 mm ²	1,05	19,90 €	20,90 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	22,79 €	0,46 €
Total				23,24 €

Tabla 26: Cuadro de Precios Descompuesto: cable 95 mm² trifásico. Fuente: Propia.

CABLE 95 mm ²				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	Cable RV-K 0,6/1kV flexible 4G 95 mm ² Suministro y tendido de línea trifásica formada por un cable RV-K multiconductor (3 fases + neutro) de 0,6/1 kV de tensión nominal. Formado por conductores de cobre de 95 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC. Totalmente instalado, conectado y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,12	16,58 €	1,99 €
u	Especialista electricidad	0,06	14,10 €	0,85 €
m	Cable Cu RV-K trifásico 95 mm ²	1,05	39,80 €	41,79 €
%	Costes Directos Complementarios	0,02	44,63 €	0,89 €
Total				45,52 €

8.2 PRESUPUESTOS PARCIALES Y PRESUPUESTO FINAL

Una vez obtenidos las unidades de obra y sabiendo las mediciones de cada una, se realiza la tabla de presupuestos parciales:

Tabla 27: Presupuestos parciales. Fuente: propia.

PRESUPUESTOS PARCIALES				
U.M	Descripción unidad de obra	Medición	Precio (€)	Importe (€)
u	Módulo fotovoltaico Sunpower 400W	953	421,09 €	401.299,42 €
u	Inversor Huawei 185kW	3	11.162,61 €	33.487,83 €
u	Concentrador "strings"	17	25,51 €	433,60 €
u	Hornacina	20	3.896,17 €	77.923,31 €
m	Tubo rígido canalización cables 25 mm diámetro	1134,2	2,08 €	2.356,57 €
m	Cable Cu RV-K 0,6/1kV monofásico 4G 2x1,5 mm ²	322,91	2,79 €	899,31 €
m	Cable Cu RV-K 0,6/1kV monofásico 4G 2x2,5 mm ²	85,14	3,16 €	269,03 €
m	Cable Cu RV-K 0,6/1kV monofásico 4G 2x4 mm ²	89,23	5,09 €	453,97 €
m	Cable Cu RV-K 0,6/1kV monofásico 4G 2x6 mm ²	263,11	6,11 €	1.606,31 €
m	Cable Cu RV-K 0,6/1kV monofásico 4G 2x16 mm ²	254,75	7,57 €	1.929,06 €
m	Cable Cu RV-K 0,6/1kV trifásico 4G 4x25 mm ²	3	14,56 €	43,67 €
m	Cable Cu RV-K 0,6/1kV monofásico 4G 2x35 mm ²	168,47	11,29 €	1.901,82 €
m	Cable Cu RV-K 0,6/1kV monofásico 4G 2x95 mm ²	889,58	23,24 €	20.674,82 €
m	Cable Cu RV-K 0,6/1kV trifásico 4G 4x95 mm ²	6	45,52 €	273,11 €
Total				543.551,84 €

El valor obtenido es el **Presupuesto de Ejecución Material (PEM)**. A continuación, se calcula el Presupuesto de **Ejecución por Contrata (PEC)**, añadiendo un **12%** de **gastos generales** y un **6%** de **beneficio industrial**. Para el cálculo del Presupuesto Final, bastará con añadir al PEC un **4%** de **honorarios** y un **21%** de **IVA**.

Tabla 28: Cálculo de presupuesto final. Fuente: propia.

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	543.551,84 €
Gastos generales (12%)	65.226,22 €
Beneficio Industrial (6%)	32.613,11 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	641.391,17 €
Honorarios (4%)	25.655,65 €
IVA (21%)	134.692,15 €
PRESUPUESTO FINAL	801.738,96 €

El presupuesto final alcanza un valor de OCHOCIENTOS MIL SETECIENTOS TREINTA Y OCHO EUROS CON NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS.

9 ANÁLISIS VIABILIDAD ECONÓMICA

9.1 TIPO DE FINANCIACIÓN

En julio de 2020 se publicó el “Texto consolidado tras modificaciones de la Convocatoria de la línea de financiación bonificada “Institut Valencià de Finances (IVF)-Liquidez COVID-19””. Este proyecto consiste en una serie de ayudas financieras para impulsar la economía tras la crisis del COVID-19, entre las que se encuentra la financiación de construcciones de energías renovables. Para ello, es necesario cumplir una serie de requisitos expuestos en el documento que la empresa en estudio y el proyecto cumplen.

En primer lugar, se trata de la construcción de instalaciones de energía renovable con una potencia inferior a **30kWp**. La empresa no forma parte de los sectores excluidos y cumple con los requisitos para ser beneficiario de la financiación, que es solicitada para gastos elegibles según la convocatoria IVF Liquidez COVID-19:

- No supera el doble del total de salarios 2019.
- No supera el 25% del volumen de negocios total de 2019.
- Solo puede financiarse el 80% del capital en un intervalo entre 25.000 y 2.000.000 de euros.

En definitiva, opta a la financiación como “gran empresa” con dos alternativas:

1. 3 años con un interés anual fijo del 0,71%.
2. 4, 5 o 6 años con un interés tipo fijo del 1,71%.

Existe la posibilidad de realizar un año de inapago con la condición de cumplir los plazos de pago, pero descartamos esa opción. Elegimos **la financiación a 6 años con un interés del tipo fijo del 1,71% y una inversión inicial del 20%** del total, como marca el IVF.

9.2 CÁLCULO DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO

Para determinar si el proyecto es viable o no, se va a realizar una comparativa entre la evolución que tendría económicamente la empresa sin la instalación fotovoltaica y la evolución económica con la instalación fotovoltaica.

Para ello, se estima que el consumo anual de la empresa y el precio del kWh no van a variar en el tiempo y se supone que la vida útil de las placas es de 25 años. Por otro lado, se estiman unos gastos de mantenimiento anuales, en los que se supone que, puesto que son placas de alto rendimiento, hay que cambiar dos al año.

Por otro lado, se aplica un período de garantía de dos años por parte de la empresa de placas fotovoltaicas, durante el cual las reparaciones de dichas placas no supondrán gasto alguno.

Dichos gastos se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 29: Gastos anuales de mantenimiento de placas. Fuente: propia.

COSTES MANTENIMIENTO				
U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
u	Módulo fotovoltaico	2,00	379,00 €	758,00 €
h	Oficial 1º electricidad	1,00	16,58 €	16,58 €
h	Especialista electricidad	1,00	14,10 €	14,10 €
%	Costes Directos Complementarios	0,05	788,68 €	39,43 €
%	IVA	0,21	828,11 €	173,90 €
Total				1.002,02 €

Pasamos a conocer el gasto que tendría la empresa si no instalara las placas fotovoltaicas en un período de 25 años, correspondiente a la vida útil de las mismas:

Tabla 30: Gastos de la empresa sin placas en los próximos 25 años. Fuente: propia.

Año	100% Energía Red Eléctrica (kWh)	Gasto energía (€)	Coste energía (€/kWh)
1	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
2	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
3	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
4	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
5	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
6	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
7	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
8	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
9	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
10	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
11	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
12	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
13	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
14	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
15	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
16	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
17	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
18	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
19	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
20	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
21	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
22	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
23	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
24	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
25	5.297.878	601.446,64 €	0,1135
Total		15.036.166,00 €	

A partir de esta tabla, hemos estimado un precio medio del **0,1135 €/kWh** para la estimación de gastos de la empresa con las placas fotovoltaicas instaladas. Para realizar este cálculo, tomamos las condiciones del IVF en cuanto a la financiación comentadas anteriormente y repetimos los cálculos para un período de 25 años.

Tabla 31: Resumen condiciones financiación IVF. Fuente: propia.

Financiado	641.391,17 €
20% total	160.347,79 €
1,71% comisiones (año 1)	10.967,79 €
6 años	106.898,53 €

En la anterior tabla se muestra la cantidad financiada, restando el 20% del total de la inversión al Presupuesto Final y calculando la amortización anual y el interés del primer año como ejemplo.

Tabla 32: Gastos de la empresa con placas en los próximos 25 años. Fuente: propia.

Año	% Energía Red Eléctrica (kWh)	Coste energía (€/kWh)	Gasto energía (€)	Coste mantenimiento €	Coste instalación €	Interés/año
1	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	- €	267.246,32 €	10.967,79 €
2	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	- €	106.898,53 €	10.780,24 €
3	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	106.898,53 €	10.595,90 €
4	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	106.898,53 €	10.414,71 €
5	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	106.898,53 €	10.236,62 €
6	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	106.898,53 €	10.061,57 €
7	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
8	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
9	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
10	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
11	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
12	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
13	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
14	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
15	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
16	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
17	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
18	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
19	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
20	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
21	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
22	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
23	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
24	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
25	4.691.483,83	0,1135	532.483,42 €	1.002,02 €	- €	- €
Total			13.312.085,38 €	23.046,46 €	801.738,97 €	63.056,82 €
						14.199.927,63 €

De la anterior tabla y de la 30 podemos deducir que, a los 25 años, la empresa habrá obtenido un beneficio neto gracias a la instalación de las placas de **836.238,37 €**.

Ahora solo queda averiguar en qué momento la empresa empieza a tener beneficios tras la inversión inicial, es decir, el período de amortización. La siguiente tabla refleja dicha evolución a lo largo de los 25 años:

Tabla 33: Período de amortización. Fuente: propia.

Año	AMORTIZACIÓN
1	-209.250,88 €
2	-257.966,43 €
3	-307.499,65 €
4	-356.851,68 €
5	-406.025,63 €
6	-455.024,52 €
7	-387.063,32 €
8	-319.102,11 €
9	-251.140,91 €
10	-183.179,70 €
11	-115.218,50 €
12	-47.257,29 €
13	20.703,91 €
14	88.665,12 €
15	156.626,32 €
16	224.587,53 €
17	292.548,73 €
18	360.509,94 €
19	428.471,14 €
20	496.432,35 €
21	564.393,55 €
22	632.354,76 €
23	700.315,96 €
24	768.277,17 €
25	836.238,37 €

Los cálculos reflejados en la tabla anterior indican que el proyecto se amortiza entre los años 12 y 13, que está por encima de los 10 años recomendados y quedaría por hacer un cálculo detallado del VAN y TIR para tener mejor información sobre la amortización.

Este es un proyecto de ahorro y apuesta por las energías renovables, por lo que se puede decir que en sentido el proyecto es económicamente viable.

10 CONCLUSIONES

El objetivo de este TFG era comprobar la viabilidad económica de las instalaciones fotovoltaicas, con el objetivo de defenderlas como una apuesta de presente y futuro, y estudiar su aplicación al caso concreto de una industria alimentaria que tiene una gran demanda de energía eléctrica.

La energía solar fotovoltaica es una tecnología con grandes ventajas frente a otras renovables como la eólica, que necesita abarcar grandes superficies de terreno y condiciones concretas de localización y viento para funcionar. Las instalaciones fotovoltaicas pueden instalarse en terrenos agrícolas, industriales y sobre todo permiten aprovechar las cubiertas de naves industriales y edificios, privados o públicos y a pequeña y gran escala.

En el caso de aplicación a la empresa alimentaria, las características de la instalación diseñada han sido condicionadas por la demanda eléctrica, la superficie útil de cubierta y la potencia y rendimiento de los paneles solares seleccionados.

Para cubrir la totalidad de la demanda sería necesaria una potencia instalada de 3.800 kW, pero debido a la limitación de superficie de cubierta y de zonas de sobras, la potencia instalada es de 380 kW, es decir, el 10% de la demanda.

En estas condiciones quedaba por estudiar la viabilidad económica el ahorro en la factura era solo del 10% y el coste de la instalación es de aproximadamente 800.000 €. Se ha realizado un cálculo sencillo de la amortización del proyecto y con las condiciones de diseño la instalación se amortizaría entre los años 13 y 14. Para este cálculo se ha tenido en cuenta la línea de financiación IVF Liquidez Covid-19.

Los resultados se van a presentar a la empresa, que ha comentado que realizará una simulación realista con sus capacidades de financiación incluyendo la negociación que quedaba pendiente con la compañía distribuidora de electricidad.

Gracias al trabajo realizado y los resultados obtenidos, podemos concluir que, a pesar de no poder suministrar energía suficiente para cubrir el consumo energético de la empresa, las instalaciones fotovoltaicas son una opción de ahorro y de apuesta por un consumo responsable al apostar por las energías renovables y el autoconsumo.

Podemos concluir, finalmente, que la energía solar fotovoltaica es una energía rentable y con proyección de futuro, que servirá en los próximos años para abastecernos y para proteger el medioambiente.

11 BIBLIOGRAFÍA

Documentos

- Instrucción Técnica Complementaria de Baja Tensión 01 (septiembre 2003).
- Instrucción Técnica Complementaria de Baja Tensión 08 (octubre 2005).
- Instrucción Técnica Complementaria de Baja Tensión 18 (octubre 2005).
- Instrucción Técnica Complementaria de Baja Tensión 19 (febrero 2009).
- Instrucción Técnica Complementaria de Baja Tensión 20 (septiembre 2003).
- Instrucción Técnica Complementaria de Baja Tensión 21 (septiembre 2003).
- Reglamento Electrotécnico de Media y Baja Tensión (septiembre 2003)
- José Roger Folch, M. R. (2010). *Tecnología Eléctrica*. Síntesis.
- Hernández González, C. (1996). *Manuales de energías renovables. 6, Manual de energía solar fotovoltaica*. Madrid : IDAE : Cinco Días, D.L.
- Trujillo Serrano, P. J., Alamillo Davila, C., Martínez Montes, M., Rubia, O., Rubio, F., Masa-Bote, D., Gutiérrez, A. (09 de 2013). Instituto de Sistemas Fotovoltaicos de Concentración concentration photovoltaics hybrid system first year of operation and improvements . *Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol.21(6)*, 1260-1275. doi:10.1002/pip.2366

Documentación web

- APPA Asociación de Empresas de Energías Renovables. (s.f.). <https://www.appa.es/>. Recuperado el 25 de 07 de 2020, de <https://www.appa.es/la-energia-en-espana/>
- Barrero, A. (24 de 01 de 2020). <https://www.energias-renovables.com/>. Recuperado el 04 de 08 de 2020, de <https://www.energias-renovables.com/panorama/espana-2020-el-pais-con-110-000-20200124>
- Ciucci, M. (02 de 2020). <https://www.europarl.europa.eu/>. Recuperado el 14 de 08 de 2020, de <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/70/la-energia-renovable>
- Comisión Europea. (2016). <https://ec.europa.eu/>. Recuperado el 01 de 08 de 2020, de https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress_es
- Comisión Europea. (11 de 12 de 2019). <https://ec.europa.eu/>. Recuperado el 07 de 30 de 2020, de https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es
- Energía y sociedad. (s.f.). <http://www.energiaysociedad.es/>. Recuperado el 04 de 08 de 2020, de <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-6-insostenibilidad-del-sistema-energetico-y-vias-de-solucion/>
- IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). <http://www.ideam.gov.co/>. Recuperado el 05 de 08 de 2020, de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- IEA International Energy Agency. (s.f.). <https://www.iea.org>. Obtenido de <https://www.iea.org>

La energía solar . (2019). <https://www.laenergiasolar.org/>. Recuperado el 29 de 07 de 2020, de <https://www.laenergiasolar.org/historia-de-la-energia-solar/>

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (23 de 06 de 2020). <https://www.miteco.gob.es/>. Recuperado el 18 de 08 de 2020, de <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-un-real-decreto-ley-con-medidas-para-impulsar-las-energ%C3%ADas-renovables-y-favorecer-la-reactivaci%C3%B3n-econ%C3%B3mica/tcm:30-510021>

Munguía, S. F. (09 de 09 de 2018). <https://www.diariorenovables.com/>. Recuperado el 29 de 07 de 2020, de <https://www.diariorenovables.com/2018/09/energias-renovables-espana-reparto-comunidades-autonomas.html>

ONU Organización de las Naciones Unidas. (25 de 11 de 2015). <https://www.un.org/>. Recuperado el 7 de 08 de 2020, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

Planas, O. (16 de 12 de 2015). <https://solar-energia.net/>. Recuperado el 03 de 08 de 2020, de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/historia>

Roca, J. A. (31 de 03 de 2018). <https://elperiodicodelaenergia.com/>. Recuperado el 13 de 08 de 2020, de <https://elperiodicodelaenergia.com/vanguard-1-la-energia-solar-en-el-espacio-cumple-60-anos/>

Tello, J. (13 de 03 de 2020). <https://www.agroalimentariasclm.coop/>. Recuperado el 29 de 07 de 2020, de <https://www.agroalimentariasclm.coop/prensa/reportajes/2695-el-pacto-verde-europeo>

Vives, J. (09 de 06 de 2020). <https://www.lavanguardia.com/>. Recuperado el 12 de 08 de 2020, de <https://www.lavanguardia.com/natural/20200609/481674891478/graficos-entender-crecen-energias-solar-eolica.html>

Componentes

Inversores

Autosolar. Inversores trifásicos. Huawei SUN2000 185 KTL H1. <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-huawei-sun2000-185-ktl-h1>

Autosolar. Inversores trifásicos. Ingecon SUN 3play 100TL. <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-red-10000w-trifasico-ingecon-sun-3play-100tl>

Placas

Rasuni. Precio panel 400W. <https://www.rasuni.com/products/sunpower-spr-max3-400>

Solarweb. Precio panel 390W. <https://www.solarweb.net/forosolar/central-compras/45690-panel-sunpower-maxeon-3-390w.html>

Sun Fields Europe. Los 10 paneles solares más eficientes (2019-2020). <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/los-10-paneles-solares-mas-eficientes-del-mercado/>

Concentradores

ABB. Productos: concentradores. <https://new.abb.com/products/es/1SLM301600A4940/stringbox-dc-16str-1500v-1f-15a>

ABB. Productos: concentradores.

<https://new.abb.com/products/1SLM302400A4940/stringbox-dc-24str-1500v-1f-15a>

ABB. Productos: concentradores.

https://library.e.abb.com/public/fc568ed61504473986488daf1313e451/CT_combiner-AU_9AKK106930A8804.pdf

Tubos canalizaciones

Electro Sumi. Elementos Conducción Cables. https://www.electrosumi.com/tubo-y-accesorios-para-conduccion-de-cables/27300-ehf25-tubo-aiscan-ehf-d25-riglibre-halogs-aiscan-8427418005779.html?gclid=CjwKCAjw4rf6BRAvEiwAn2Q76rBlx5XhHiKI4GzYdi6ji-aslwEH3TT9Uor1VoaDqaUuK_u3kjmVShoCVjAQAvD_BwE

Cables

<https://webmatel.com/MANGUERA-FLEXIBLE-DE-POTENCIA-06/1KV-2x1-MM2>

<https://www.eenergie-shop.es/cable-electrico-rv-y-rv-k>

<https://www.laobra.es/cables-electricos/mangueras/rvk/4-25-mm.html>

<https://www.laobra.es/cables-electricos/mangueras/rvk/2-35-mm.html>

<https://www.electricidad.tienda/cable-unipolar-1000v/cable-rv-k-1x95-mm2-unipolar-1000v-929.html>

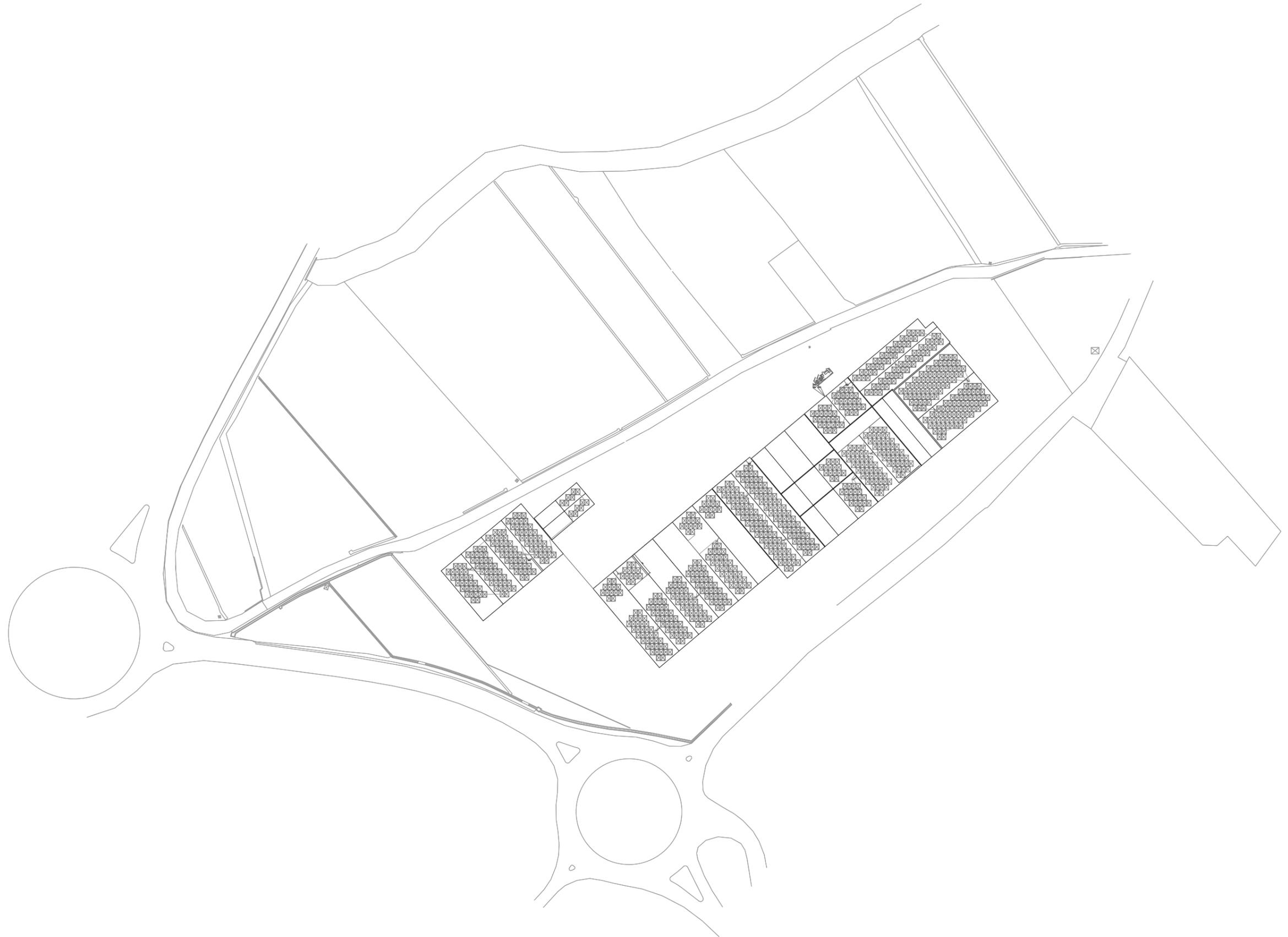
PLIEGO DE CONDICIONES

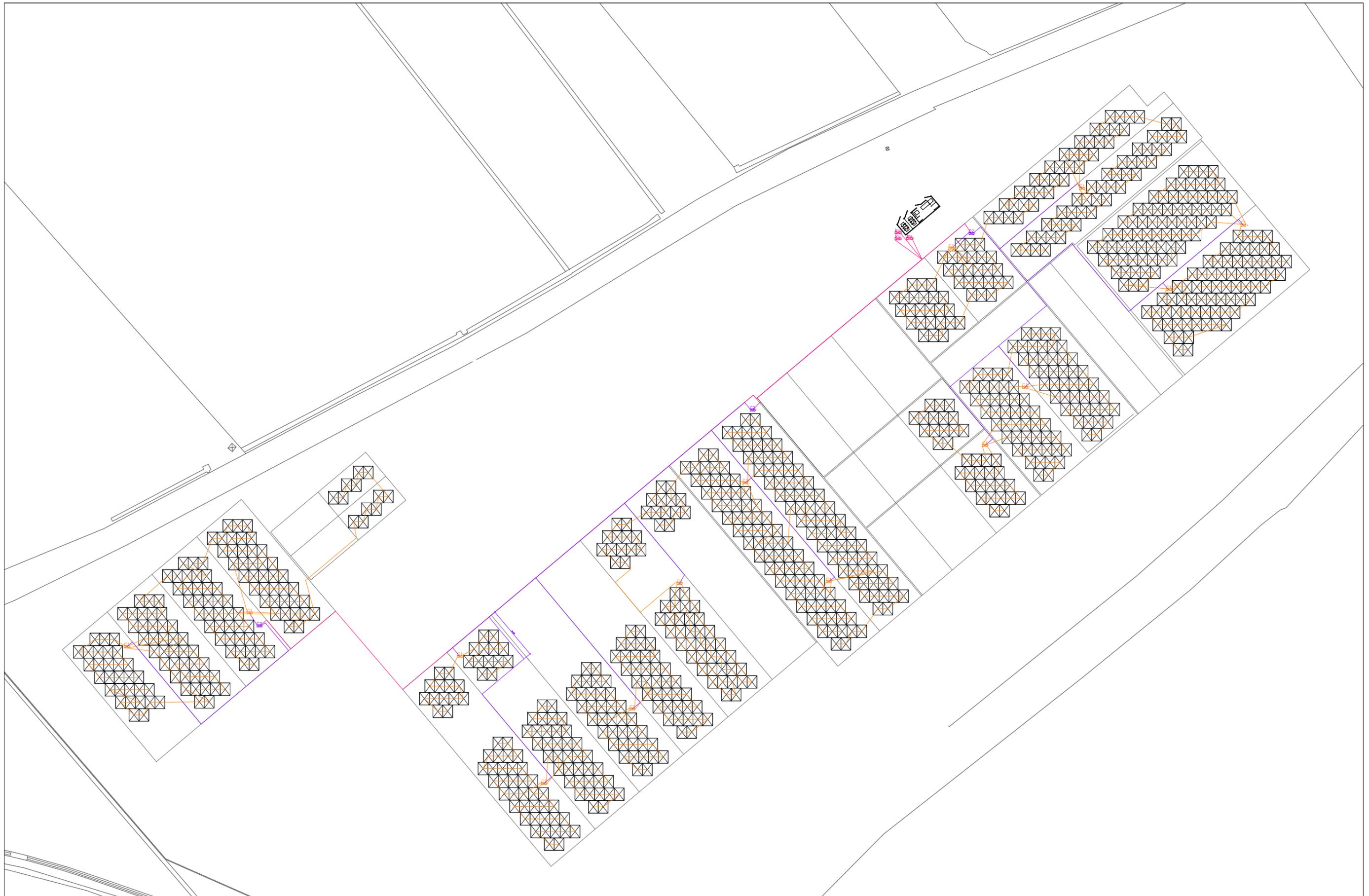
A partir del rendimiento de los paneles y el plan de mantenimiento, se establecerán las condiciones de cambio de paneles en caso de mal funcionamiento o rendimiento inferior al esperado.

Se debe tener en cuenta la instalación de un vallado perimetral en cubiertas con el objetivo de garantizar las condiciones de seguridad necesarias a los técnicos encargados de realizar la instalación de los paneles fotovoltaicos en las diferentes cubiertas.

Por otro lado, será necesario determinar el acceso a las cubiertas por parte de los propios técnicos, ya sea para instalación o mantenimiento, mediante el método establecido por la industria según la construcción de esta. Este acceso se puede realizar, por ejemplo, a través de las escaleras de incendios.

PLANOS





TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA

Proyecto: **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE 380 KW PARA CUBRIR LA DEMANDA DE UNA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

Plano: **Plano instalación fotovoltaica**

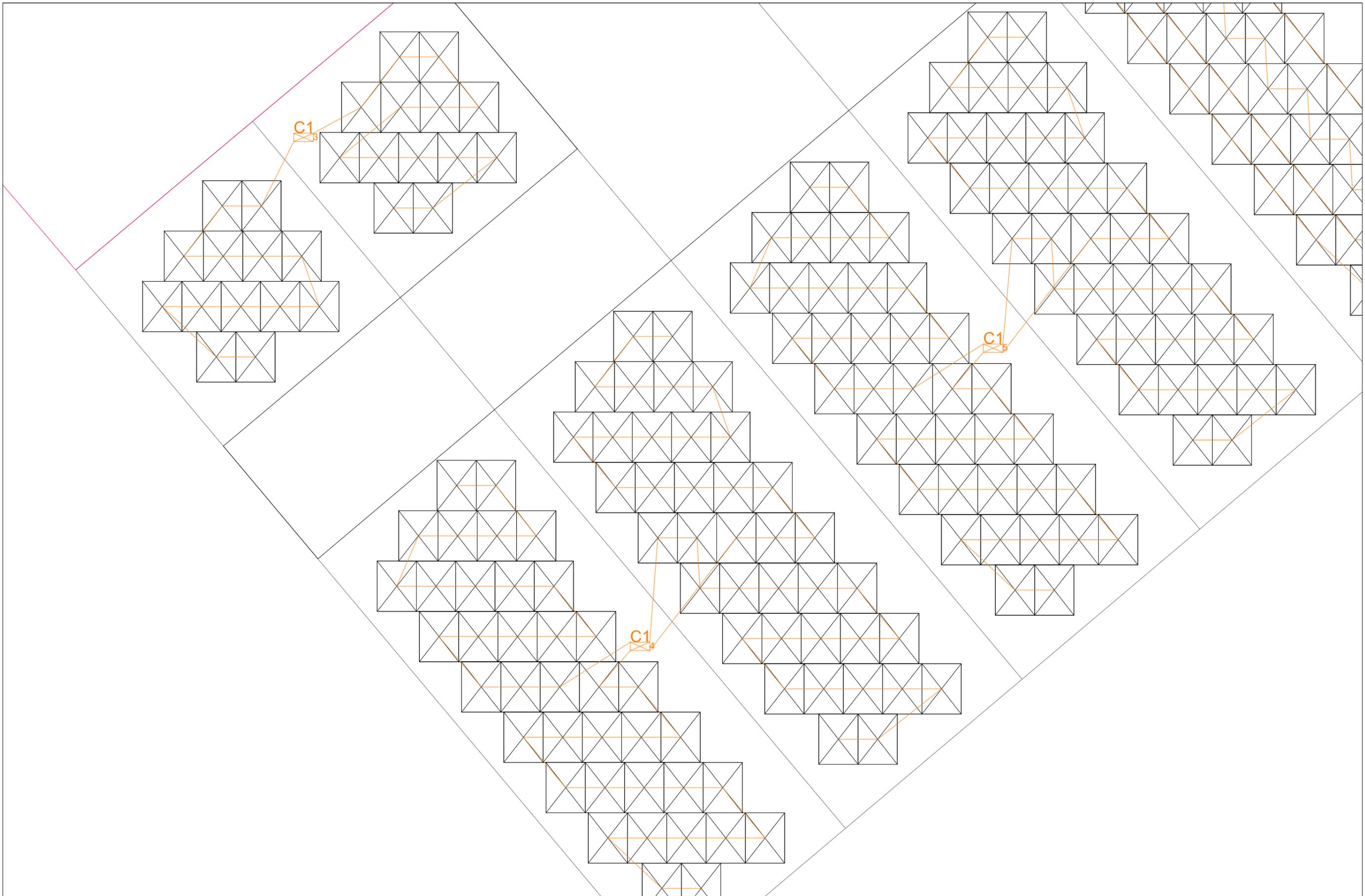
Autor: **Antonio Avellana Martínez**

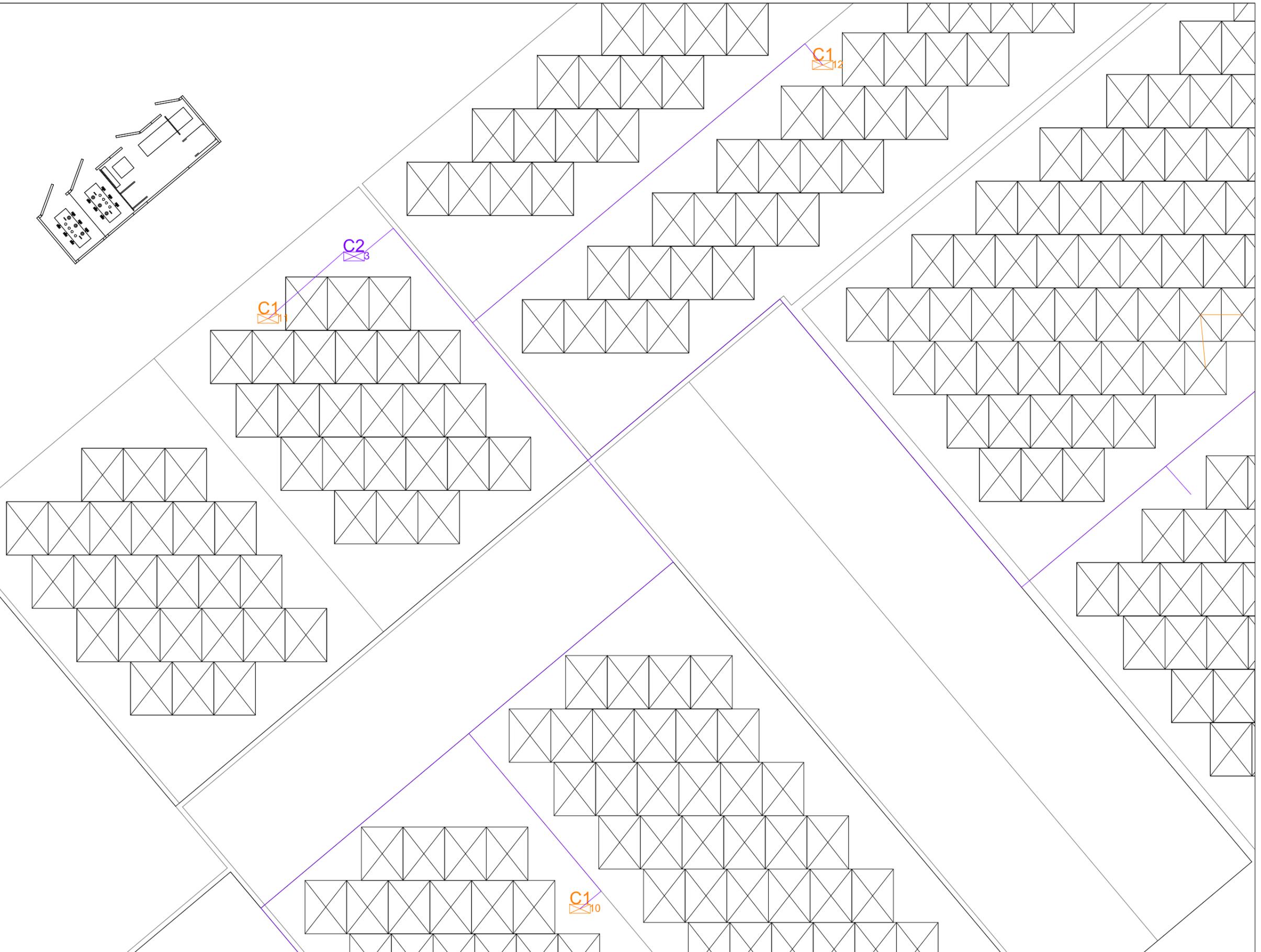
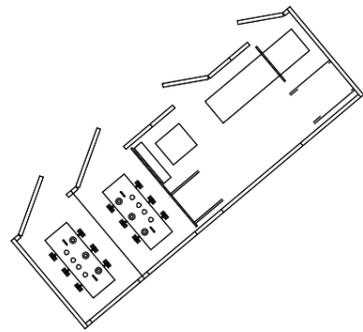
Fecha: **Septiembre 2020**

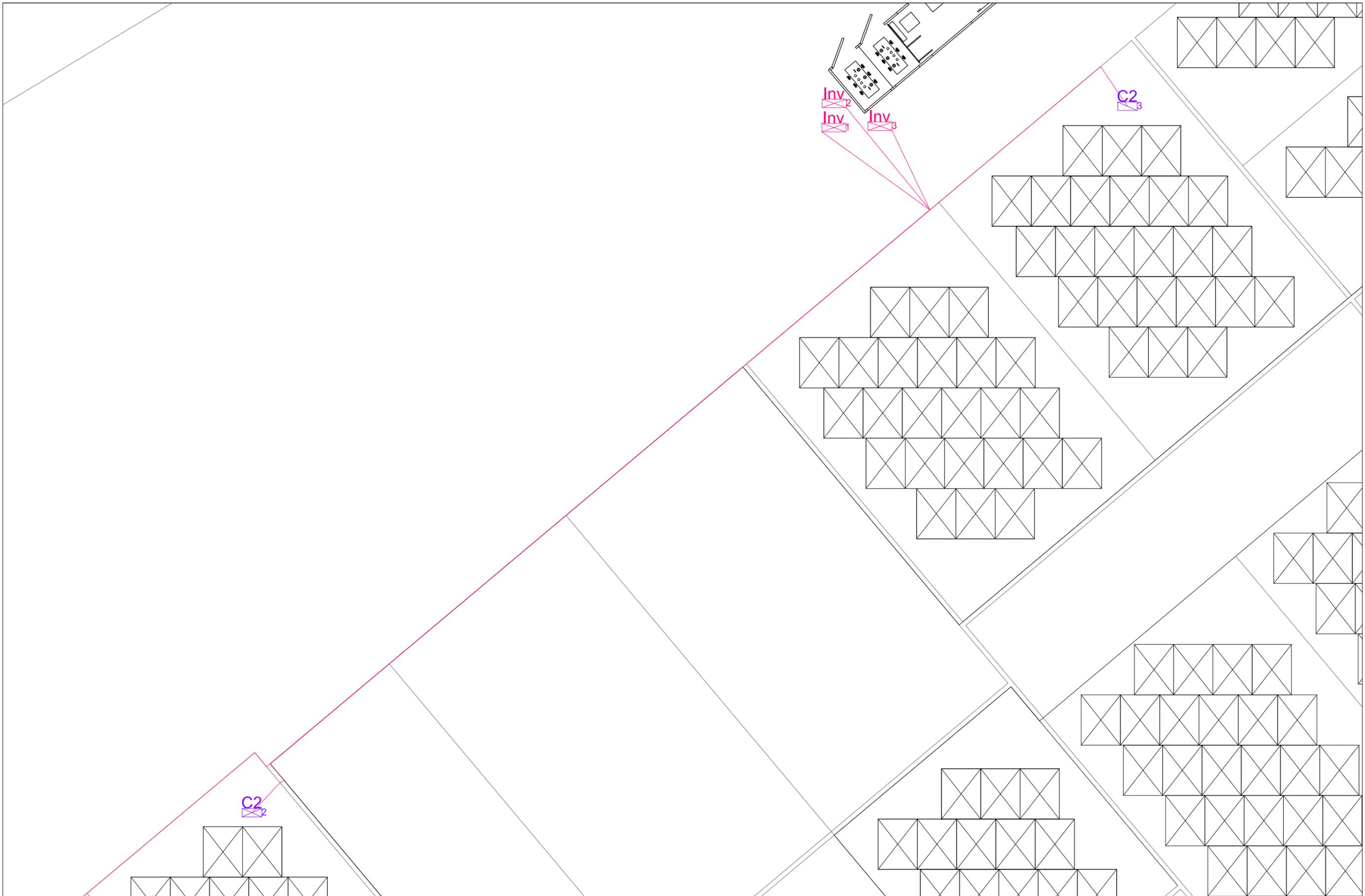
Escala: **1:600**

Nº Plano:

2







TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA

Proyecto: **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE 380 kW PARA CUBRIR LA DEMANDA DE UNA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

Plano: **Detalle inversor**

Autor: **Antonio Avellana Martínez**

Fecha: **Septiembre 2020**

Escala: **1:150**

Nº Plano:

5