



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**“Diseño de una instalación solar fotovoltaica para el
Autoconsumo de Electricidad en una planta de
galvanizado en España”**

Autor: Jaime Benavente Martínez
Directora: Consolación Alonso Alonso

MADRID

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“Diseño de una instalación solar fotovoltaica para el Autoconsumo de Electricidad en una
planta de galvanizado en España”

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2021/2022 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Jaime Benavente Martínez

Fecha: 20 /09/2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Consolación Alonso Alonso

Fecha://



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**“Diseño de una instalación solar fotovoltaica para el
Autoconsumo de Electricidad en una planta de
galvanizado en España”**

Autor: Jaime Benavente Martínez
Directora: Consolación Alonso Alonso

MADRID

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer el tiempo y los esfuerzos dedicados a mi tutora Doña Consolación Alonso Alonso, una pieza clave en el desarrollo de este proyecto.

Especial mención a mi familia, en particular mis padres, mis hermanos y mi pareja por el apoyo incondicional que me han ofrecido a lo largo de mi vida, sin los cuales, no solo no podría haber hecho el grado de Ingeniería Industrial, si no que no sería el hombre que soy.

Finalmente, agradezco a la institución de ICAI y en especial a todos los integrantes que he tenido el placer de cruzarme en estos años. Agradezco a los docentes la formación como futuro ingeniero, y aún más los valores que me han enseñado. Especial mención en esta tarea a Don Santiago Canales Cano y a Don Félix Mariano Alonso Sanz.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INDUSTRIAL (ICAI)
GRADO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL AUTOCONSUMO DE ELECTRICIDAD EN UNA PLANTA DE GALVANIZADO EN ESPAÑA.

Autor: Benavente Martínez, Jaime.

Directora: Alonso Alonso, Consolación.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO:

El proyecto que se va a desarrollar consiste en el diseño de una instalación fotovoltaica de autoconsumo sobre estructuras pertenecientes a una planta de galvanizado en caliente localizada en la región de Casatejada, Cáceres.

Se entiende por fotovoltaica de autoconsumo el consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica proveniente de instalaciones de generación solar próximas a las de consumo y asociadas a las mismas.

El Real Decreto 244/2019 recoge la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo. Este reglamento recogía, entre otros, los requisitos técnicos que debían cumplir las instalaciones destinadas al autoconsumo de energía eléctrica para asegurar el cumplimiento de los criterios de seguridad de las instalaciones, así como el marco económico de aplicación para esta actividad.

A su vez, el Real Decreto 15/2018, recoge medidas urgentes para la transición energética en 2030 y la consecuente descarbonización. Este, secunda el autoconsumo permitiendo que, productores, consumidores y la sociedad en su conjunto, puedan beneficiarse de las ventajas que acarrea esta actividad, en términos de menores necesidades de red, mayor independencia energética y menores emisiones de gases de efecto invernadero.

Además de los beneficios medioambientales del autoconsumo, se dan otros efectos positivos como la disminución de pérdidas en la red eléctrica nacional y, a nivel usuario, una disminución de la energía consumida procedente de la red, en consecuencia, una reducción de costes en la factura eléctrica.

Para diseñar la instalación la primera decisión que se ha tomado es el modelo de autoconsumo que se va a implementar. Existen tres modelos de autoconsumo.

El autoconsumo “sin excedentes”: Son instalaciones de autoconsumo de baja potencia normalmente que incorporan un sistema de antivertido a la red eléctrica.

El autoconsumo “con excedentes no acogido a compensación”: En esta modalidad, se implanta al sistema fotovoltaico una batería para poder almacenar la energía que no se ha autoconsumido. Esta modalidad es rentable en instalaciones de baja potencia en las que se estima oportuno almacenar la energía para utilizarla en periodos nocturnos. En instalaciones de gran potencia, debido al coste de las baterías necesarias, no tiene sentido hoy día.

El autoconsumo “con excedentes y acogido a compensación”: Son instalaciones de autoconsumo en las que, si existen periodos de excedencia de producción, podrán verter dicha energía eléctrica excedentaria a la red, compensando los costes de energía inyectada y energía consumida (se pueden reducir costes, pero no una retribución económica).

Para este proyecto, se selecciona la modalidad de autoconsumo con excedentes acogido a compensación, a pesar de que dada la potencia fotovoltaica instalada y las magnitudes y horarios de los consumos de la industria, resulta en no producir excedentes. Toda la energía generada es autoconsumida.

Lo siguiente que se estudio fue el terreno y sus propiedades meteorológicas. Se analiza la superficie disponible para la instalación y se comprueban los datos de irradiación solar. Para conocer los datos de irradiación solar, se comparan varias bases de datos punteras. De dicha comparación se decide trabajar con la base de datos “PVGIS”.

Como se ha dejado entrever, se analizan los consumos horarios de la industria a lo largo de los meses de año, de tal forma que se puede entender la actividad de la fábrica (picos de consumo a lo largo del día, turnos nocturnos, actividad durante el fin de semana...). Otro punto

importante del análisis de consumos es la tarifa eléctrica contratada por la empresa. Gracias a los datos obtenidos inicialmente, se puede extraer el consumo en cada uno de los 6 periodos de la tarifa eléctrica, que permite conocer que los consumos de la empresa son eficientes en términos energéticos. La energía anual consumida fue de 1035,04MWh.

Posteriormente, se presentan los dispositivos que se deciden implementar en la instalación fotovoltaica. En primer lugar, se eligió el panel fotovoltaico de la marca "Risen Solar" RSM-156-440M. Para la determinación del módulo se presenta más adelante una comparativa entre distintas instalaciones con distintos módulos con sus correspondientes inversores. Se elige el inversor de la marca "HUAWEI" SUN100KTL, dimensionado para la máxima potencia instalada en base a la superficie disponible. Para los soportes se escogen de tipo coplanar "Gulpiyuri".

Una vez seleccionados los dispositivos eléctricos se evalúan los cálculos eléctricos correspondientes al tipo de módulo seleccionado, cableado en corriente continua y alterna, protecciones y sistema de puesta a tierra.

Terminado esto, se comienza con el dimensionamiento de dos parámetros fundamentales de la planta, la inclinación de los módulos, y el número de ellos así como su disposición eléctrica. Se acomete dicha operación mediante la vía del dimensionamiento por método analítico. Resultando en:

Inclinación	Número de módulos	Strings	Módulos/string	Potencia instalada
5º	288	16	18	127kWp

Lo siguiente es el dimensionamiento por método computacional. Por el que se obtienen los resultados de una forma más precisa y se podrán determinar datos de forma sencilla. La forma en la que se plantea el método computacional es mediante la comparativa entre instalaciones de distinta potencia. En este análisis se compara: la cantidad de energía generada por la planta en un espacio de tiempo, y el payback (teniendo en cuenta únicamente los costes de los dispositivos). El resultado es que la instalación óptima es la misma que la resultante en el método analítico, debido a que los consumos de la empresa son tan elevados que a mayor potencia instalada, mayor rentabilidad. En el programa PVSyst, se introducen los parámetros de la instalación, degradación y consumos. El resultado es un preciso informe con diagrama de

Sankey, autoconsumo y excedentes en franjas horarias... entre otros. Los resultados del diseño técnico de la instalación son:

	Paneles Fotovoltaicos	Inversor
Marca	Risen Solar	Huawei
Modelo	RSM-156-440M	SUN2000-100KTL-M1

Nº de módulos	Potencia Instalada (kWp)	Energía Anual Consumida (MWh)	Energía anual producida (MWh)	Consumo anual neto (MWh)
288	127	1035,04	186,4	848,64

Por último, se deja el apartado técnico y se indaga en ámbitos económicos y medioambientales que afectan directamente a la empresa bajo estudio.

En cuanto al medioambiente, se explica el impacto de la instalación en forma de reducción de gases de efecto invernadero a la atmosfera. Pues una nueva planta fotovoltaica instalada supone en un ahorro del uso de tecnologías contaminantes tales como el ciclo combinado (un ahorro de 41 toneladas de CO2 anuales).

En lo económico, se determina un presupuesto de 144000€, y se comenta la posibilidad de adquirir una subvención del estado. A continuación, se expone los precios desglosados por periodo de la tarifa eléctrica contratada. Con estos, la inflación prevista (2%), la degradación de los módulos (0,5%), y la generación, se presenta un balance económico de duración igual a la vida útil de la planta (25 años). De dicho balance, se obtienen indicadores económicos fundamentales para decidir invertir en el proyecto:

Tasa de descuento	VAN	TIR	PayBack
5%	151.612 €	13%	7,25

VAN: Valor Neto Actual.

TIR: Tasa Interna de retorno.

De estos indicadores, se estima la instalación como muy rentable. Teniendo en cuenta que en dichos indicadores no se ha tenido en cuenta la muy posible subvención de la que la empresa se beneficiaría. El VAN es ampliamente superior a 0, El TIR es elevado y el tiempo en el que se recupera la inversión es de 7 años y 3 meses.

Se concluye comentando las virtudes económicas y medioambientales de la instalación. En el apartado económico del usuario, la instalación supondrá un gran ahorro, y más con el panorama energético actual. Desde el punto de vista medioambiental, esta instalación contribuye al desarrollo sostenible del planeta y fomenta la concienciación de la sociedad frente a la polución y el cambio climático.

DESIGN OF A PHOTOVOLTAIC INSTALLATION FOR SELF-CONSUMPTION OF ELECTRICITY IN A GALVANIZING PLANT IN SPAIN.

Author: Benavente Martínez, Jaime.

Director: Alonso Alonso, Consolación.

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia de Comillas.

ABSTRACT:

The project to be developed consists of the design of a self-consumption photovoltaic installation on structures belonging to a hot-dip galvanizing plant located in the region of Casatejada, Cáceres.

Self-consumption photovoltaic means the consumption by one or more consumers of electrical energy from solar generation facilities close to the consumption and associated to them.

Royal Decree 244/2019 includes the regulation of the administrative, technical, and economic conditions of self-consumption. This regulation included, among others, the technical requirements to be met by the facilities intended for self-consumption of electricity to ensure compliance with the safety criteria of the facilities, as well as the economic framework of application for this activity.

Royal Decree 15/2018, includes urgent measures for the energy transition in 2030 and the consequent decarbonization. It supports self-consumption, allowing producers, consumers, and society as a whole, to benefit from the advantages of this activity, in terms of lower grid requirements, greater energy independence and lower greenhouse gas emissions.

In addition to the environmental benefits of self-consumption, there are other positive effects such as the reduction of losses in the national electricity grid, and, at user level, a reduction in the energy consumed from the grid and, consequently, a reduction in electricity bill costs.

To design the installation, the first decision to be taken is the self-consumption model to be implemented. There are three self-consumption models.

Self-consumption "without surplus": These are low-power self-consumption installations that normally incorporate an anti-discharge system to the electrical grid.

Self-consumption "with surplus not subject to compensation": In this model, a battery is installed in the photovoltaic system, to be able to store the energy that has not been self-consumed. This modality is profitable in low power installations in which it is considered appropriate to store energy to use during night. In high power installations, due to the cost of the necessary batteries, it does not make sense yet.

Self-consumption "with surpluses and with compensation": These are self-consumption installations in which, if there are periods of surplus production, the surplus can be discharged as electrical energy to the grid, compensating the costs of energy injected and energy consumed (costs can be reduced, but not an economic retribution).

For this project, the self-consumption with surplus is selected with compensation. Even though, given the installed photovoltaic power, and the magnitudes and schedules of the industry's consumption, it results in not producing surpluses. All the energy generated is self-consumed.

Next thing that studied, was the terrain and its meteorological properties. The surface area available for the installation was analyzed and the solar irradiation data was checked. In order to know the solar irradiation data, several leading databases were compared. From this comparison, it was decided to work with the "PVGIS" database.

As mentioned above, the hourly consumption of the industry is analyzed throughout the months of the year, so that the activity of the factory can be understood (consumption peaks throughout the day, night shifts, activity during the weekend...). Another important point of the consumption analysis is the electricity tariff contracted by the company. Thanks to the data initially obtained, it is possible to extract the consumption in each of the 6 periods of the

electricity tariff, which allows us to know that the company's consumption is efficient in energy terms. The annual energy consumed was 1035.04MWh.

Subsequently, the devices that are decided to be implemented in the photovoltaic installation are presented. First of all, the Risen Solar RSM-156-440M photovoltaic panel was chosen. In order to determine the module, a comparison between different installations with different modules with their corresponding inverters is presented. The inverter of the brand "HUAWEI" SUN100KTL is chosen, dimensioned for the maximum installed power based on the available surface. For the supports, "Gulpiyuri" coplanar type is chosen.

Once the electrical devices have been selected, the electrical calculations corresponding to the type of module selected, wiring in direct and alternating current, protections and grounding system are evaluated.

Once this is finished, we start with the sizing of two fundamental parameters of the plant, the inclination of the modules, and the number of them as well as their electrical layout. This operation is undertaken by means of the analytical dimensioning method. Resulting in:

Inclination	Number of modules	Strings	Modules/string	Installed Power
5º	288	16	18	127kWp

The following is the dimensioning by computational method. By which the results are obtained in a more precise way and data can be determined in a simple way. The way in which the computational method is proposed is through the comparison between installations of different power. In this analysis we compare: the amount of energy generated by the plant in a period of time, and the payback (taking into account only the costs of the devices). The result is that the optimal installation is the same as the one resulting from the analytical method, because the company's consumption is so high that the higher the installed power, the higher the profitability. In the PVsyst program, the parameters of the installation, degradation and consumptions are introduced. The result is an accurate report with a Sankey diagram, self-consumption and surplus in time slots... among others.

The result of the technical sizing is:

	Photovoltaic Module	Inverter
Brand	Risen Solar	Huawei
Type	RSM-156-440M	SUN2000-100KTL-M1

Nº de modules	Installed Power (kWp)	Consumed Anual Power (MWh)	Produced Anual Power (MWh)	Net Anual Consumption (MWh)
288	127	1035,04	186,4	848,64

Finally, the technical section is left aside and the economic and environmental areas that directly affect the company under study are investigated.

Regarding the environment, the impact of the installation in the form of reduction of greenhouse gases into the atmosphere is explained. A new photovoltaic plant installed means a saving in the use of polluting technologies such as the combined cycle (a saving of 41 tons of CO₂ per year).

In economic terms, a budget of 144,000 euros is determined, and the possibility of acquiring a subsidy from the state is discussed. Next, the prices broken down by period of the contracted electricity tariff are presented. With these, the expected inflation (2%), the degradation of the modules (0.5%), and the generation, an economic balance is presented with a duration equal to the useful life of the plant (25 years). From this balance, fundamental economic indicators are obtained to decide to invest in the project:

Discount Rate	NPV	IRR	PayBack
5%	151.612 €	13%	7,25€

NPV: Net Present Value.

IRR: Internal Rate of Return.

From these indicators, the installation is estimated as very profitable. Considering that these indicators do not take into account the very possible subsidy from which the company would benefit. The NPV is well above 0, the IRR is high and the time in which the investment is recovered is 7 years and 3 months.

We conclude by commenting on the economic and environmental virtues of the installation. From the economic point of view of the user, the installation will represent a great saving, especially with the current energy scenario. From the environmental point of view, this installation contributes to the sustainable development of the planet and promotes society's awareness of pollution and climate change.

ÍNDICE

1. OBJETO	17
2. INTRODUCCIÓN	17
3. MARCO REGULATORIO DEL AUTOCONSUMO EN ESPAÑA	19
4. PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA	21
5. AUTOCONSUMO EN ESPAÑA.....	23
6. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	26
6.1. Localización.....	26
6.2. Superficie Disponible.....	27
7. DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN	29
7.1. Recurso Solar	29
7.2. Análisis de Consumos.....	32
7.3. Componentes de la Instalación.....	37
7.4. Cálculos Justificativos – Módulos e Inversor.....	41
7.5. Cálculos Justificativos – CTE.....	43
7.6. Cableado de Baja Tensión	44
7.7. Protecciones.....	48
7.8. Sistema de puesta a tierra en BT.....	50
7.9. Cálculo de la inclinación y número de paneles óptimo	54
7.9.1. Método Analítico	54
7.9.2. Método Computacional - PVsyst	59
8. IMPACTO DE LA INSTALACIÓN	67
9. SUBVENCIONES	75
10. PRESUPUESTO	78
11. ESTUDIO ECONÓMICO.....	80
12. SOLUCIÓN DE AUTOCONSUMO Y CONCLUSIONES	89
BIBLIOGRFÍA	93
ANEXO I.....	95
ANEXO II.....	103
ANEXO III	111
ANEXO IV.....	120
ANEXO V	124

INDICE DE ILUSTRACIONES:

Ilustración 1: Potencia instalada en España. Fuente: REE.	24
Ilustración 2: Potencia fotovoltaica instalada en España a lo largo de los años. Fuente: REE.	25
Ilustración 4: Provincia de Cáceres. Fuente: Wikipedia	26
Ilustración 3: Localización. Fuente: Google Maps.	26
Ilustración 5: Planta del recinto de galvanizado. Fuente: Google Maps.....	26
Ilustración 6: Superficie marquesina con módulos fotovoltaicos. Fuente: Galvexsa.SA	27
Ilustración 7: Detalle de las marquesinas desde la planta. Fuente: Galvexsa.SA.....	27
Ilustración 8: Plano del Aparcamiento desde Planta. Fuente: Galvexsa.SA.....	28
Ilustración 9: Temperaturas. Fuente: Elaboración propia.....	31
Ilustración 10: Irradiación solar Global. Fuente: Elaboración Propia	31
Ilustración 11: Gráfico de barras de consumo medio diario. Fuente: Elaboración propia	32
Ilustración 12: División de periodos Tarifa 6.1.TD. Fuente: Energigreen.	33
Ilustración 13: Consumo Mensual por horas. Fuente: Elaboración propia.....	35
Ilustración 14: Gráfico de columnas de consumo energético por periodos. Fuente: Elaboración propia.	36
Ilustración 15: Panel Fotovoltaico. Fuente: Google Images	37
Ilustración 16: Inversor 100KTL. Fuente: Huawei.....	39
Ilustración 17: Sistema Gulpiyuri. Fuente: Ficha Técnica alusinsolar	41
Ilustración 18: Cableado positivo y negativo del lado de CC. Fuente: Electricidad.tienda.....	47
Ilustración 19: Cableado lado de CA. Fuente: RCTcables	48
Ilustración 20: Azimut. Fuente: Google Images	54
Ilustración 21: Estructura tipo Bulnes. Fuente: Ficha técnica Bulnes, Alusin Solar	56
Ilustración 22: Diagrama de Sankey. Fuente: PVsyst.....	61
Ilustración 23: Informe PVsyst. Fuente: PVsyst.....	62
Ilustración 24: Comparación entre Potencias instaladas. Fuente: Elaboración propia	64
Ilustración 25: Diagrama de Producciones normalizadas. Fuente: PVsyst.....	65
Ilustración 26: Diagrama de Sankey. Fuente: PVsyst.....	66
Ilustración 27: Generación de la Instalación Anual. Fuente: Elaboración propia.	67
Ilustración 28: Impacto de la Instalación Fotovoltaica en el patrón de consumo. Fuente: Elaboración propia	70
Ilustración 29: Gráfico de Consumo Mensual español por Tecnologías en 2022. Fuente: OMIE	72
Ilustración 30: Emisiones de CO2 por tecnologías. Fuente: Red Eléctrica.	72
Ilustración 31: Carbonización en España. Fuente: Fundación aquae	74
Ilustración 32: Herramienta para conocer la subvención referente a una fotovoltaica. Fuente: Junta de Industria de Extremadura.....	77
Ilustración 33: IPC últimos 10 años. Fuente: Elaboración propia	83
Ilustración 34: Balance Económico. Fuente: Elaboración propia.....	85
Ilustración 35: Flujo de Caja/Flujo de Caja acumulado. Fuente: Elaboración propia.	87
Ilustración 36: Resumen Análisis Económico. Fuente: Elaboración propia.....	88
Ilustración 37: Objetivos desarrollo sostenible de la ONU, 2015. Fuente: ONU.....	98

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Irradiación Global Horizontal y Temperatura Meteorológica. Fuente: Elaboración propia	30
Tabla 2: Irradiación Global Horizontal y Temperatura NASA. Fuente: Elaboración propia ...	30
Tabla 3: Irradiación Global Horizontal y Temperatura PVGIS. Fuente: Elaboración propia ..	31
Tabla 4: Consumo energético por periodos de facturación. Fuente: Elaboración propia	36
Tabla 5: Ficha Técnica RSM156-440M. Fuente: Risen Solar	38
Tabla 6: Ficha técnica SUN100KTL. Fuente: Huawei	40
Tabla 7: Comparativa módulos. Fuente: Elaboración Propia	42
Tabla 8: Comparativa Inversores. Fuente: Elaboración Propia	42
Tabla 9: Comparativa Instalaciones. Fuente: Elaboración Propia	43
Tabla 10: Sobrecargas. Fuente: elaboración propia	43
Tabla 11: Valores Característicos de sobrecarga de uso. Fuente: Documento Básico SE-AE	44
Tabla 12: Temperatura máxima. Fuente: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión	45
Tabla 13: Caídas de Tensión. Fuente: Elaboración propia	45
Tabla 14: Resistividad del terreno. Fuente: ITC-RBT-18	51
Tabla 15: Fórmulas de Resistencia de puesta a tierra. Fuente: ITC-RBT-18	52
Tabla 16: Sección de conductores de protección. Fuente: ITC-RBT-19	53
Tabla 17: Irradiación global horizontal. Fuente: Elaboración propia	55
Tabla 18: Irradiación global en función de la inclinación. Fuente: Elaboración propia	55
Tabla 19: Comparación de Potencias Instaladas. Fuente: Elaboración propia	64
Tabla 20: Balances y Resultados. Fuente: PVsyst	65
Tabla 21: Porcentaje de Energía Autoconsumida del consumo global. Fuente: Elaboración propia	71
Tabla 22: Energía Autoconsumida. Elaboración Propia	73
Tabla 23: Desglose de presupuesto. Fuente: Elaboración propia	78
Tabla 24: Autoconsumo horario mensual. Fuente: Elaboración propia	80
Tabla 25: Autoconsumo anual por periodos de facturación. Fuente: Elaboración propia	81
Tabla 26: Coste de tarifa de acceso, peajes y cargo por potencia contratada en cada periodo. Fuente: Galvexsa	81
Tabla 27: Coste de tarifa de acceso, peajes y cargo por consumo energético en cada periodo. Fuente: Galvexsa	82
Tabla 28: Coste por cantidad de energía consumida. Fuente: Galvexsa	82
Tabla 29: Coste total de energía consumida por periodo. Fuente: Elaboración propia	82
Tabla 30: Resultados dimensionamiento analítico. Fuente: Elaboración propia	89
Tabla 31: %E. Autoconsumida respecto del total del consumo. Fuente: Elaboración Propia.	90
Tabla 32: Estimación de reducción de costes en el primer año. Fuente: Elaboración Propia.	91
Tabla 33: Resumen de la Instalación. Fuente: Elaboración propia	92
Tabla 34: Resumen de la Insatención. Fuente: Elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.

1. OBJETO

La finalidad es la construcción de una planta de producción de energía fotovoltaica sobre la cubierta de los complejos de una planta de galvanizado con el fin de reducir los costes en la factura eléctrica a la vez que contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello se presentará un proyecto de ejecución.

2. INTRODUCCIÓN

En las próximas décadas, se determinará si el planeta es capaz de soportar la vida humana o por el contrario, los cambios medioambientales ocasionarán la extinción del estado del estado de bienestar que define la época contemporánea. Las condiciones medioambientales no han hecho más que empeorar [1]. En la actualidad ya se empiezan a vislumbrar atisbos del daño que se le está haciendo al planeta, desastres medioambientales tales como el deshielo de los polos, océanos contaminados, agujeros en la capa de ozono ...

El continuado aumento de emisiones de CO₂ por el uso de combustibles fósiles es uno de los factores más preocupantes. La mayoría de estas emisiones están asociadas a los sectores de transporte y generación eléctrica. Además, por si fuese poco, es ya sabido que en muchos países se ha alcanzado el máximo de producción de petróleo para comenzar una tendencia decreciente, lo que se traduce en que el agotamiento de los recursos fósiles. [1]

Por todo esto es de vital importancia fomentar el uso de fuentes de generación de energía limpias.

Dentro de las fuentes de energías renovables, la explotación de la energía solar está en crecimiento. La energía solar es una fuente inagotable y renovable, se puede utilizar para la generación de energía eléctrica y producción de calor y se obtiene mediante espejos y paneles solares. Los paneles fotovoltaicos/solares son estructuras formadas por células fotovoltaicas, dispositivos compuestos por semiconductores capaces de producir una corriente continua utilizando como fuente la irradiación solar. Cuando la radiación solar incide sobre una célula

fotovoltaica, se produce una diferencia de potencial entre los extremos de la carga. La corriente que aporta la célula a la carga es el resultado de dos corrientes opuestas, la corriente de iluminación y la corriente de oscuridad.

Cabe destacar que, la fotovoltaica es una tecnología con un amplio margen de desarrollo. Los procesos de producción de los paneles son muy complejos y costosos y los rendimientos no son suficientes como para poder competir con las fuentes de energía tradicionales.

Tradicionalmente se han utilizado modelos de generación de energía eléctrica unidireccionales y situados a grandes distancias de los centros de consumo. Como resultado de este modelo, se han desarrollado nuevas formas de generación distribuida basadas en plantas de reducido tamaño, conectadas a las redes de distribución cercanas a los puntos de consumo. Dado que la generación fotovoltaica es una fuente limpia y renovable que por sus características, se integra a la perfección en zonas de grandes consumos, hace que sea un recurso cada vez más explotado. Con el aprovechamiento de superficies útiles (como el caso de tejados y cubiertas de naves industriales) se consigue la instalación de energía fotovoltaica para la generación de energía eléctrica dentro de la red interior de un consumidor para su propio consumo, es decir, autoconsumo.

En 2021 se instalaron 1.203 MW de potencia fotovoltaica para autoconsumo en España, lo que supone un incremento del 101,84% con respecto al 2020. [2]

La razón de este incremento en instalaciones fotovoltaicas en España, es de carácter tanto económico como medioambiental. De la misma forma, el proyecto de ejecución que se va a llevar a cabo a continuación, disminuirá los gastos de la empresa en la tarifa eléctrica y fomentará la industria sostenible y respetuosa con el medioambiente.

3. MARCO REGULATORIO DEL AUTOCONSUMO EN ESPAÑA

El artículo 9 de la ley 24/2013 del 26 de diciembre, define el autoconsumo como la energía eléctrica proveniente de las instalaciones de generación conectadas en el interior de una red de un consumidor o a través de una línea directa de energía eléctrica asociadas a un consumidor. [3]

El 10 de octubre de 2015 fue publicado en el Boletín Oficial del Estado el Real Decreto 900/2015, por el que se regulan las condiciones técnicas, administrativas y económicas del suministro de energía eléctrica mediante autoconsumo. Entre otros establece las condiciones técnicas que las instalaciones de la índole de producción de energía eléctrica mediante autoconsumo deben cumplir, así como las condiciones de seguridad y el marco económico de aplicación. [3]

Posteriormente, el Real Decreto-ley 15/2018, de medidas urgentes para la transición energética con horizonte de ejecución en el año 2030, mediante la explotación de energías renovables [4]. Con su publicación, realiza una modificación profunda de la regulación del autoconsumo en España con el fin de que productores, consumidores y en general la sociedad, puedan beneficiarse de las ventajas del autoconsumo. [3]

El Real Decreto 244/2019 deroga muchas de las normativas referentes al 900/2015, y establece definiciones y distingue varias modalidades de autoconsumo:

- **Suministro con autoconsumo sin excedentes:**

Modalidad definida en el artículo 9.1 de la Ley 23/2013. Consiste en la instalación de un mecanismo de antivertido que impide la inyección de energía eléctrica a la red. El único sujeto existente es el consumidor. [3]

- **Suministro con autoconsumo con excedentes:**

Modalidad definida en el artículo 9.1 de la Ley 23/2013. Las instalaciones de producción cercanas a las de consumo podrán, además de suministrar energía para el autoconsumo, inyectar la energía excedentaria en la red. Los sujetos definidos son el productor y el consumidor. [3]

Esta modalidad es definida mediante dos posibles variantes de la misma:

- Modalidad con excedentes acogida a compensación:

El productor y el consumidor acceden voluntariamente a un mecanismo de autoconsumo con compensación de excedentes. Existen diversos requisitos que han de cumplirse para poder tener acceso a dicha modalidad:

- Fuente de energía primaria de origen renovable.
- La potencia de la instalación debe ser inferior a 100kW.
- Si resultase necesario el consumidor suscriba un contrato de suministro para el consumo asociado y para el consumo de los servicios auxiliares con una empresa comercializadora.
- El consumidor y productor asociado hayan suscrito un contrato de compensación de excedentes de autoconsumo.
- La instalación de producción no tenga asociado un régimen retributivo adicional o específico. [3]

- Modalidad con excedentes sin acogida a compensación:

Pertenecerán a la misma todos aquellos casos de autoconsumo que no cumplan con alguno de los requisitos anteriormente mencionados o porque voluntariamente no se acojan a dicha modalidad. [3]

Además de las modalidades de autoconsumo definidas, se distinguirá también entre el número de consumidores que se benefician de la producción de la instalación. El autoconsumo en función de los consumidores podrá ser por tanto individual y colectivo. En el caso de que sea de tipo colectivo, todos los consumidores asociados a una instalación deberán pertenecer a la misma modalidad de autoconsumo además de la obligatoriedad de notificar de forma individual un mismo acuerdo firmado por todos los participantes que recoja los criterios de reparto (directamente o través de la empresa comercializadora). [3]

4. PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA

El 12 de diciembre de 2015 se estableció el acuerdo de París. Es un tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante. Fue adoptado por 196 partes en la COP21 y entro en vigor en España el 4 de noviembre de 2016. Dicho acuerdo impone un límite máximo en el incremento de la temperatura global de 2°C en comparación con los niveles preindustriales. La razón de que el acuerdo de París 2015 sea un hito en la historia del ser humano es que vincula a todos los países para unirse frente a una causa común y emprender ambiciosos esfuerzos para combatirla. El principal camino para esta sociedad de países a conseguir sus objetivos es alcanzar el máximo de emisiones de gases de efecto invernadero lo antes posible. La expectativa es alcanzar un clima neutro a mediados de siglo. [5]

España, en su compromiso con el acuerdo de París, presento en 2016 el denominado “paquete de invierno”, un conjunto de revisiones y propuestas legislativas sobre eficiencia energética, energías renovables, diseño del mercado eléctrico, seguridad de suministros y reglas de gobernanza para la Unión Europea. Tiene un carácter regulatorio y genera las condiciones necesarias para conseguir llevar a cabo importantes inversiones con objetivo de convertir a los consumidores europeos agentes de la transición energética. [6]

Estas iniciativas tienen como finalidad alcanzar los siguientes objetivos vinculantes impuestos por la UE en 2030 [6]:

- Detrimiento de producción de gases de efecto invernadero del 40% respecto a 1990.
- Consumo de energía producida mediante fuentes renovables del 32% respecto al total de la producida.
- 32,5% de mejora de la eficiencia energética.
- 15% interconexión eléctrica de los Estados miembros.

La Unión Europea exige a todos los Estado miembro la elaboración de un Plan Nacional de Energía y Clima. Los PNIEC presentados por cada Estado son evaluados para determinar el grado de cumplimiento y corregir posibles desvíos. Concretamente, España ha mostrado una gran implicación con su propio PNIEC situándolo en el eje de su acción política. [6]

El PNIEC 2021-2030 elaborado por el Estado Español, posee varios puntos fuertes importantes de destacar:

- La descarbonización: En España tres cuartas partes de gases de efecto invernadero se originan en el sistema energético, por lo que será esencial actuar en este sector. Es necesaria la coordinación interadministrativa para hacer compatibles las distintas políticas asociadas a este plan.
- Una transición Justa: Orientada a gestionar equitativa y solidariamente las consecuencias que acarrearán ciertas políticas sobre personas y colectivos empresariales asociadas a determinadas tecnologías que se verán afectadas a ser progresivamente desplazadas.
- Principio de Eficiencia Energética: Se espera alcanzar un 39,5% de mejora de eficiencia energética en 2030. La correcta ejecución del PNIEC transformará el sistema energético a una mayor autosuficiencia mediante el aprovechamiento del potencial de energía proveniente de fuentes renovables existente en España, imperando el solar y el eólico.

[6]

5. AUTOCONSUMO EN ESPAÑA

En el PNIEC 2021-2030 del Estado Español, toma peso el autoconsumo renovable. En el terreno nacional existe una gran facilidad del recurso renovable, se busca la modularidad de las instalaciones, la reducción de costes y una nueva regularización para la energía autoproducida y permite el vertido del excedente a la red.

El Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico español, califica el autoconsumo como una de las claves para la descarbonización de la economía española. De tal forma, dicho ministerio estableció lo que se conoce a día de hoy como “Hoja de Ruta de Autoconsumo”, referente al marco normativo, ventajas, retos y medidas de este tipo de generación. Los objetivos marcados son:

- Fomentar la penetración del autoconsumo por tipo de consumidor.
- Establecer las líneas de actuación para promover un autoconsumo renovable en el que el ciudadano es el dentro del sistema energético.
- Promover su uso compartido.
- Implantación en los sectores industrial, servicios y público para la reactivación económica.
- Desarrollo del autoconsumo como palanca para la generación de actividad y empleo, propulsando la cadena de valores locales y el ahorro de costes energéticos. [7]

A pesar del potencial que tiene España para la generación mediante autoconsumo, más concretamente autoconsumo fotovoltaico (aunque eólico también), aún existe un gran margen de desarrollo. En el apartado ecológico, es bien sabido la necesidad de instalación de autoconsumo. Como ya se ha visto en apartados anteriores, la Unión Europea conjuntamente con los países integrantes, entre ellos España, ya trabajan a favor de un cambio de contexto ecológico. Sin embargo, eso no es todo, la crisis energética actual es un gran agravante.

En 2021 se empezaron a desencadenar diversos acontecimientos mundiales que, aún día, siguen incrementando el precio del gas natural.

- Bajas reservas de gas natural tras un frío invierno (2021): España por ejemplo sufrió la borrasca “Filomena” que helo la mayor parte de ciudades del país.
- Consecuencias de la pandemia COVID-19: Dado que la actividad industrial calló durante la pandemia, también lo hizo la explotación de reservas de gas natural, lo que originó que cuando se retomó, el ritmo de estos yacimientos fuese menor.
- Aumento de la demanda internacional de gas: Tras la reactivación industrial todos los países comenzaron una competencia por el gas natural. Asia se hace con gran parte dado que no dispone de reservas naturales.
- Dependencia energética: España concretamente es sumamente dependiente de sus relaciones comerciales y geopolíticas de los países exportadores.
- Guerra entre Rusia y Ucrania: El temor a una irrupción del suministro ruso, potencia en gran medida la subida del coste del gas natural.

Todos estos factores han desencadenado que el precio del gas haya crecido en los últimos años en más de un 700%. El mix energético español a día de hoy, sigue siendo muy dependiente del gas, más concretamente de la tecnología de generación conocida como ciclo combinado. Esta tecnología es la mayor en potencia instalada en España (26250MW), y tiene la ventaja de ser muy flexible.

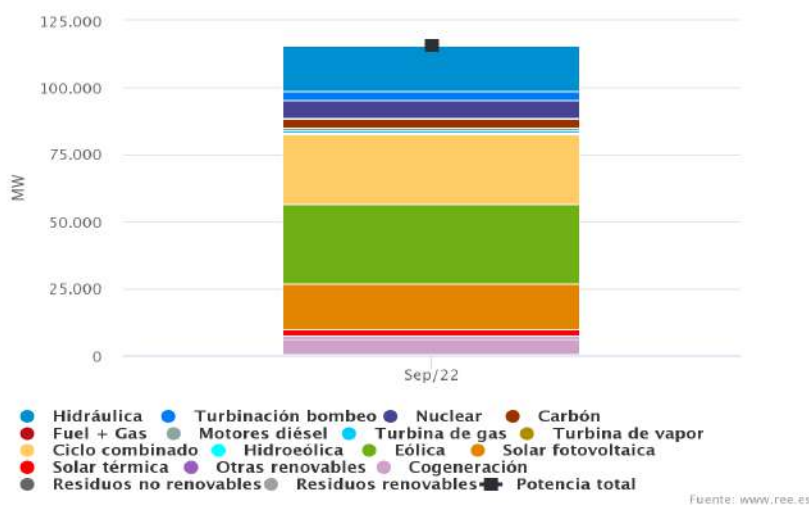


Ilustración 1: Potencia instalada en España. Fuente: REE.

Como se comentaba, este panorama global ha ocasionado un gran crecimiento de la potencia instalada dedicada al autoconsumo en España tanto por motivos de concienciación social en beneficios de la generación renovable, como por razones de ahorro económico frente a los máximos históricos alcanzados en costes energéticos.

Potencia eléctrica instalada de solar fotovoltaica

Sistema eléctrico nacional 2015-2021 | En MW

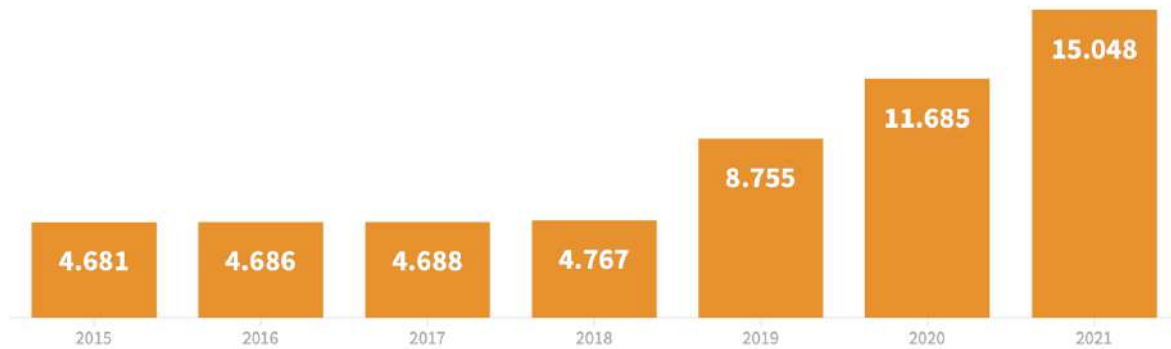


Ilustración 2: Potencia fotovoltaica instalada en España a lo largo de los años. Fuente: REE.

6. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

6.1. Localización

La empresa de galvanizado en caliente Galvexsa, está situada en la provincia extremeña de Cáceres, Casatejada.

- Latitud: 39,92° N
- Longitud: -5,69° W
- Altitud: 275m



Ilustración 3: Localización. Fuente: Google Maps.

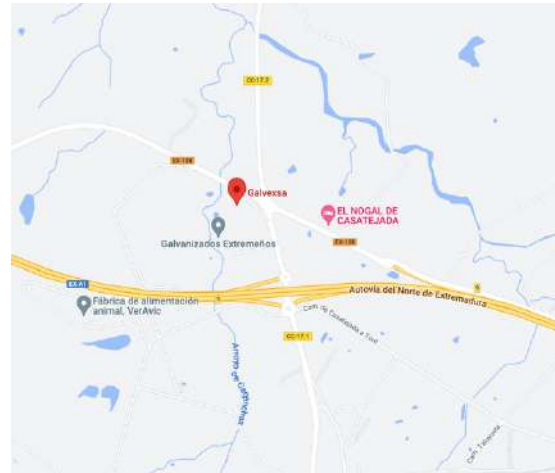


Ilustración 4: Provincia de Cáceres. Fuente: Wikipedia



Ilustración 5: Planta del recinto de galvanizado. Fuente: Google Maps

6.2. Superficie Disponible

La empresa de galvanizado ha decidido recientemente la construcción de unas zonas de aparcamiento en las cuales se han instalado marquesinas para proteger los coches de las condiciones climatológicas. Aprovechando las nuevas estructuras y las obras que se van a llevar en el terreno, se estima oportuno que los módulos fotovoltaicos se acoplen encima de las marquesinas.

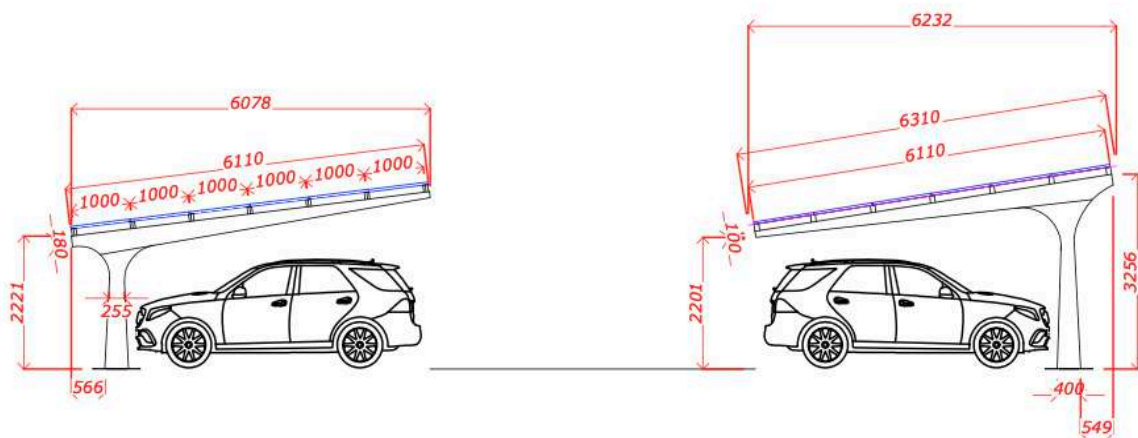


Ilustración 6: Superficie marquesina con módulos fotovoltaicos. Fuente: Galvexsa.SA

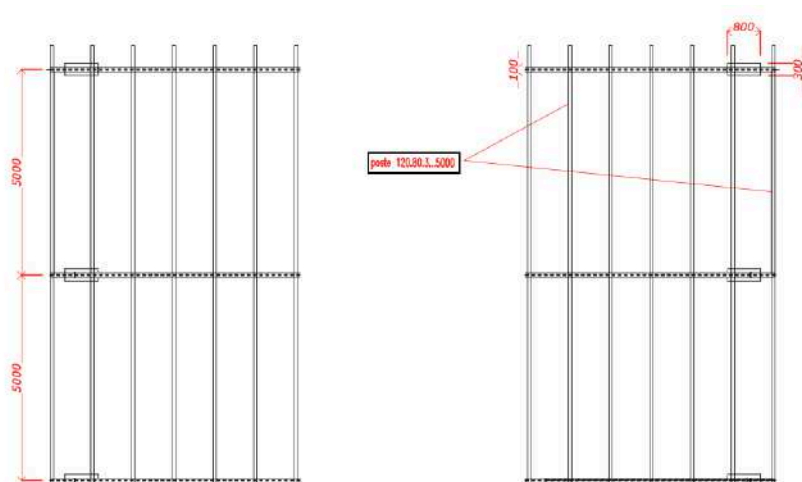


Ilustración 7: Detalle de las marquesinas desde la planta. Fuente: Galvexsa.SA

Se consta de dos filas de marquesinas con una superficie útil de 331m² cada fila haciendo un total de 663m² para acoplar los módulos fotovoltaicos. Ambas filas de marquesinas cuentan con una misma orientación y una inclinación de 5° respecto al suelo. Para realizar el

dimensionamiento de una fotovoltaica es importante determinar el “azimut”, se refiere al ángulo existente entre la orientación de los módulos y el sur. En este caso el azimut es 28°.

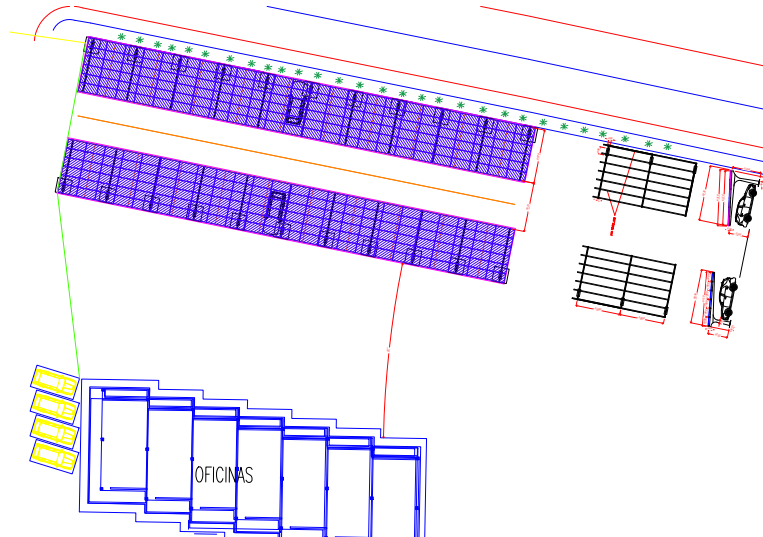


Ilustración 8: Plano del Aparcamiento desde Planta. Fuente: Galvessa.SA

El uso de esta superficie es idóneo para la instalación fotovoltaica dado que se trata de dos conjuntos de estructuras con una misma inclinación, lo que simplifica los diferentes strings de los módulos y sin afección a sombras.

Se determinará la cantidad de módulos que se podrán implantar haciendo una comparativa de superficies. Siendo la superficie de un panel 2,2m² aproximadamente:

$$n^{\circ}_{\text{módulos}} = \frac{S_{\text{marquesinas}}}{S_{\text{módulo}}} = \frac{663}{2,2} \approx 301 \text{ módulos.}$$

Sin embargo, en el futuro, habrá que tener en cuenta la superficie utilizada por los soportes de los módulos, e igualar el número de módulos por cada string para el correcto funcionamiento del inversor.

7. DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

La instalación fotovoltaica de autoconsumo propuesta para Galvexsa es del tipo de con excedentes y acogida a compensación, es decir, conectada a red para vertido de excedentes. De esta forma, se deberán analizar diversos parámetros importantes para la implantación del proyecto tales como el recurso solar de la localidad, selección de componentes necesarios, cálculos eléctricos, consumos de la empresa y cantidad de módulos fotovoltaicos.

7.1. Recurso Solar

Uno de los parámetros fundamentales a analizar para poder llevar a cabo una instalación fotovoltaica es la disponibilidad de la localidad de recurso solar. La energía solar está compuesta por la producida por “la luz” la fotovoltaica y “el calor” la termosolar. Estas, son determinantes para la producción de los paneles fotovoltaicos de energía eléctrica.

Existen diversas bases de datos que serán capaces de proporcionar las medidas de irradiación global y temperatura (incluso velocidad del viento, humedad relativa en aire... si fuese necesario) que se dieron en la ubicación seleccionada en una línea temporal. Se expondrán los datos obtenidos por las bases de datos más famosas y se evaluará cual es la más fiable y por tanto la más adecuada para el estudio.

Los siguientes datos representan una media mensual de los últimos años.

- Meteonorm 8.0

Mes	Irradiación Global Horizontal kWh/m ² /mes	Irradiación Directa Horizontal kWh/m ² /mes	Irradiación Global difusa kWh/m ² /mes	Temperatura °C
Enero	64,7	33,9	30,8	7,8
Febrero	87,2	53,2	34	9,1
Marzo	133,9	85,9	48	12,3
Abril	164,6	97,4	67,2	14,6
Mayo	205,8	133,3	72,5	19,2
Junio	229	163,5	65,5	24,3
Julio	246,8	193,4	53,4	27,4

Agosto	215	162	53	27,4
Septiembre	154,5	107,3	47,2	23
Octubre	111,3	68	43,3	17,8
Noviembre	70,5	42,8	27,7	11,4
Diciembre	57,2	31,9	25,3	8,4
Año	1740,7	1172,7	568	16,9

Tabla 1: Irradiación Global Horizontal y Temperatura Meteorológica. Fuente: Elaboración propia

- NASA

Mes	Irradiación Global Horizontal kWh/m ² /mes	Irradiación Directa Horizontal kWh/m ² /mes	Irradiación Global difusa kWh/m ² /mes	Temperatura °C
Enero	69,8	46,5	23,3	5
Febrero	87,9	59,3	28,6	6,4
Marzo	139,2	97	42,2	10,2
Abril	164,1	109,8	54,3	12,9
Mayo	199	134,2	64,8	17,7
Junio	227,1	169,2	57,9	23,3
Julio	238,7	185,4	53,3	26,3
Agosto	209,9	161,5	48,4	25,5
Septiembre	154,5	112,5	42	21,3
Octubre	102,6	66	36,6	15,5
Noviembre	69,6	44,1	25,5	9,7
Diciembre	57,7	36	21,7	6,4
Año	1720	1221,6	498,4	15

Tabla 2: Irradiación Global Horizontal y Temperatura NASA. Fuente: Elaboración propia

- PVGIS

Mes	Irradiación Global Horizontal kWh/m ² /mes	Irradiación Directa Horizontal kWh/m ² /mes	Irradiación difusa Horizontal kWh/m ² /mes	Temperatura °C
Enero	65,2	46,5	28,2	7,3
Febrero	99,3	59,3	29,2	8,3
Marzo	121,9	97	53	9,7
Abril	172,7	109,8	57,4	13,8
Mayo	210,9	134,2	71,2	18,3
Junio	215,6	169,2	66,4	20,4
Julio	251,4	185,4	52,7	25,7
Agosto	206,1	161,5	47,3	28
Septiembre	161,1	112,5	44,4	22,1

Octubre	101,3	66	42,4	17,4
Noviembre	67,8	44,1	30,8	11,1
Diciembre	66,2	36	23,2	6,8
Año	1739,3	1221,6	546,2	15,8

Tabla 3: Irradiación Global Horizontal y Temperatura PVGIS. Fuente: Elaboración propia

De esta forma, se obtienen los siguientes gráficos comparativos:

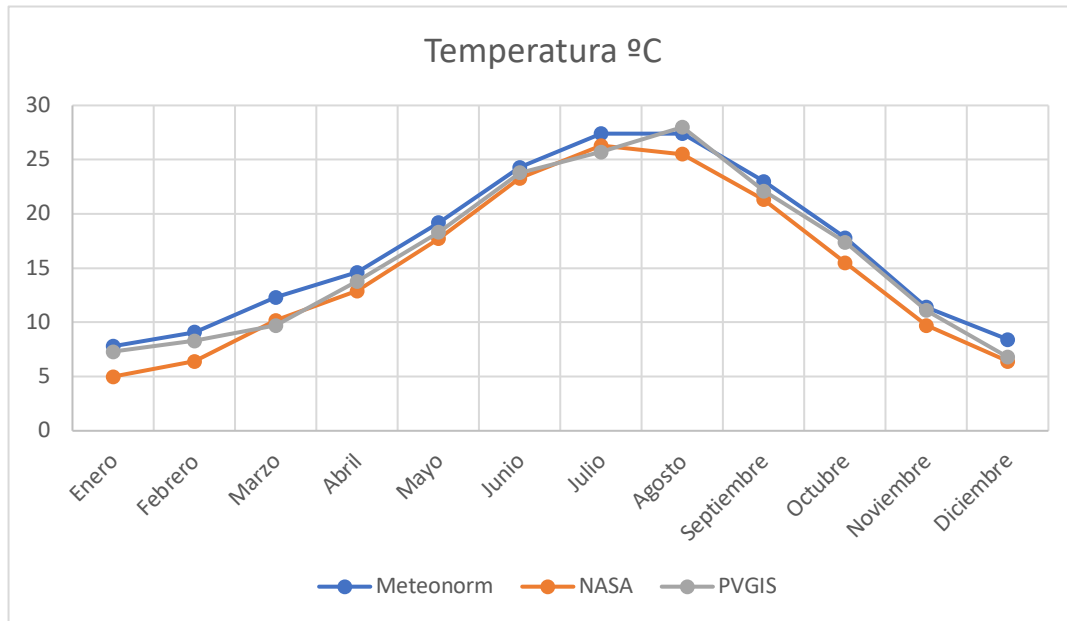


Ilustración 9: Temperaturas. Fuente: Elaboración propia

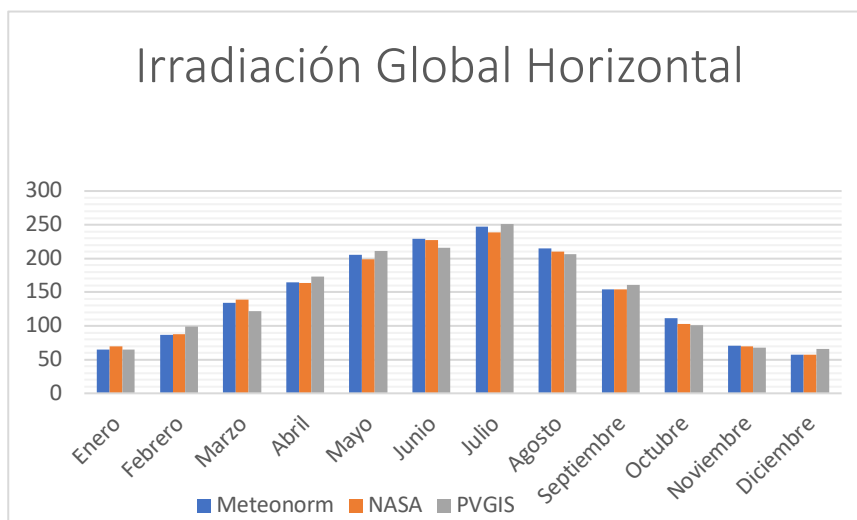


Ilustración 10: Irradiación solar Global. Fuente: Elaboración Propia

Dado los datos obtenidos, es apreciable diferencias entre las bases de datos seleccionadas. Las bases de datos más convergentes son Meteonorm y PVGIS, mientras que NASA difiere más de estas. Por lo consiguiente, se utilizará PVGIS para la realización del proyecto, posee datos muy certeros de Europa, Asia y América.

7.2. Análisis de Consumos

Para dimensionar el proyecto se analizarán los consumos de la planta del galvanizado. Es importantes conocer las dimensiones del consumo de la industria galvanizadora tanto para dimensionar correctamente el campo generador como para conocer el impacto económico de la instalación en el cliente. Se analizarán los periodos de mayor y menor consumo a lo largo de distintas escalas de tiempo. Para el estudio de consumo se han utilizado las facturas e informes por horas aportados por la comercializadora.

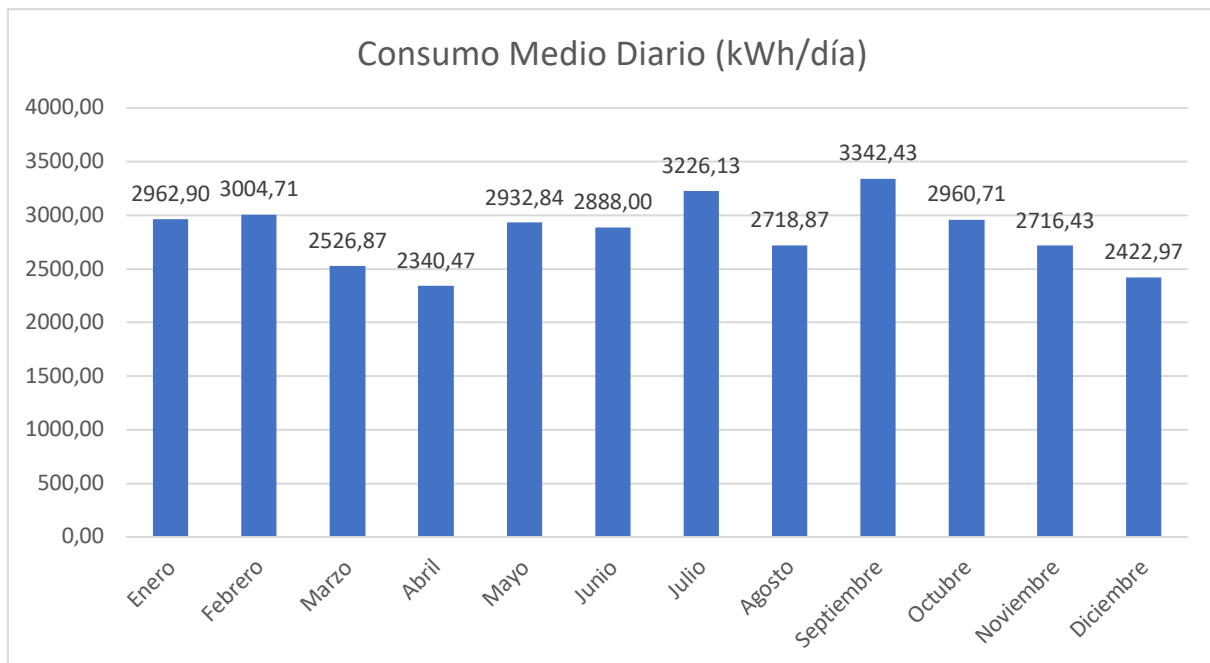


Ilustración 11: Grafico de barras de consumo medio diario. Fuente: Elaboración propia

Es apreciable que el consumo medio diario de la empresa no varía sustancialmente de un mes a otro, sigue una tendencia relativamente constante. Dando por sentado que la producción (y por tanto el consumo eléctrico) varía debido a múltiples aspectos que no se pueden prever, lo

normal, y de hecho reflejado en el gráfico, es que disminuya en los meses de menor actividad laboral en España.

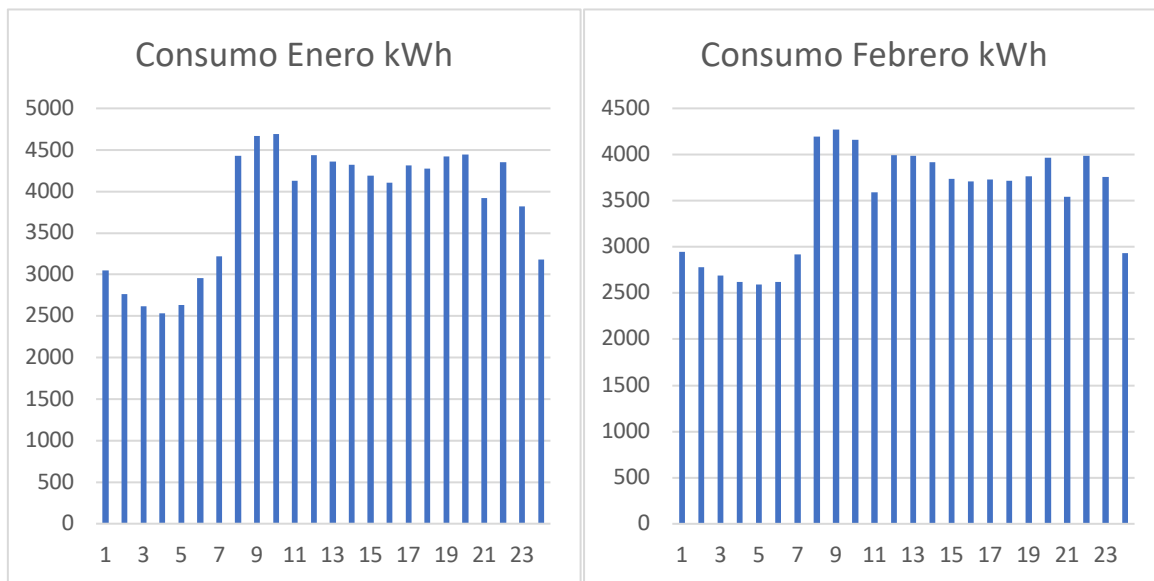
Se analizarán los consumos mensuales por horas para contrastarlo con el tipo de tarifa eléctrica contratada por la empresa. Dicha tarifa acordada entre comercializadora y consumidor es del tipo 6.1.TD, la cual consta de 6 periodos de facturación.

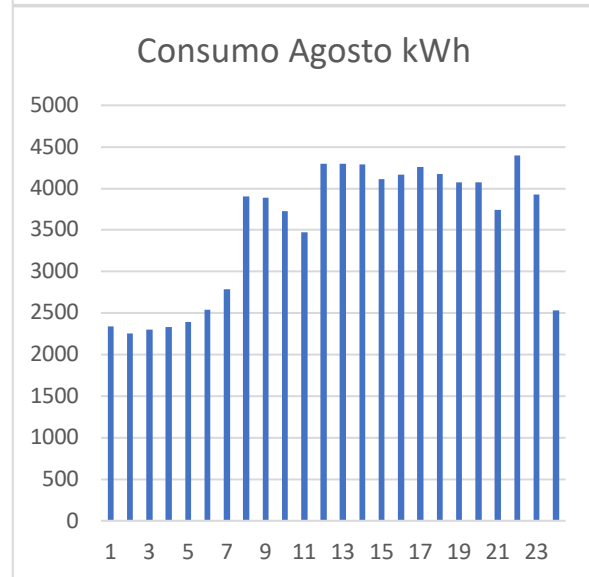
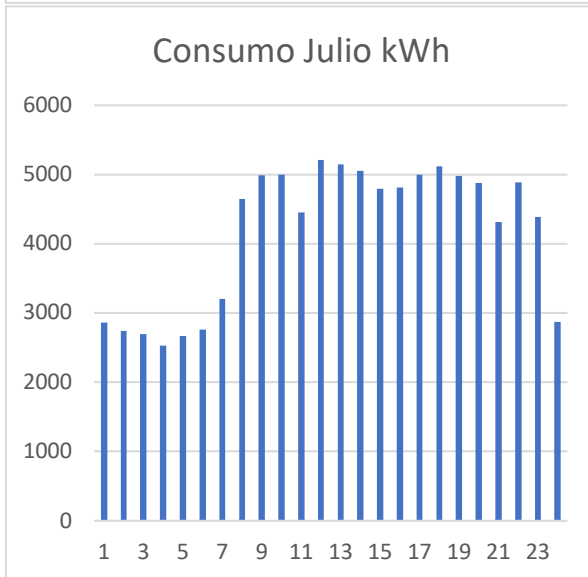
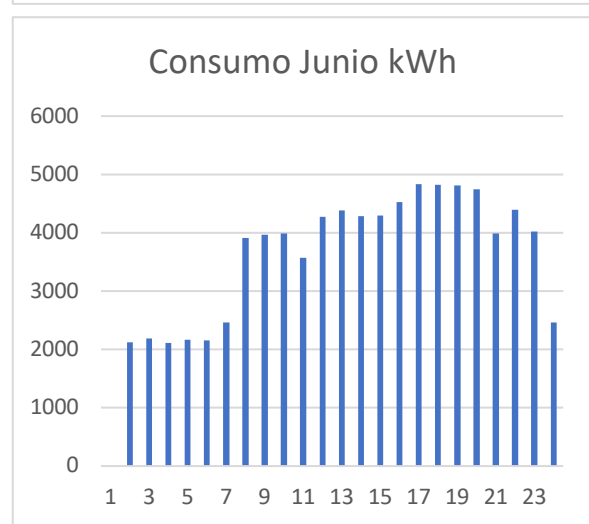
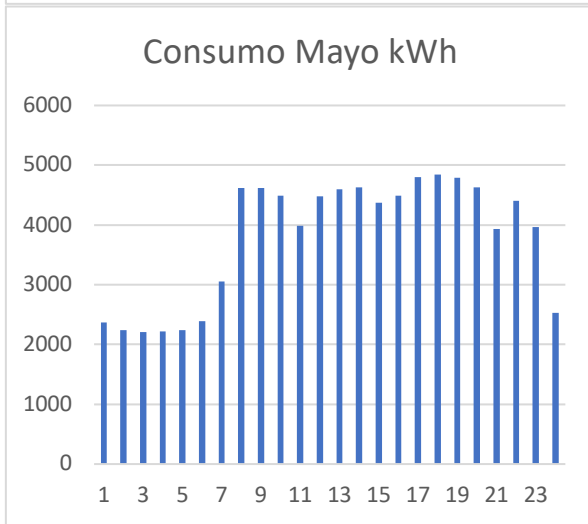
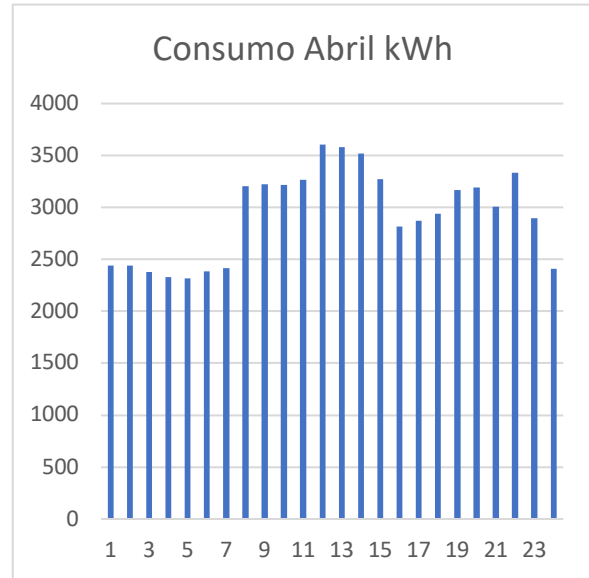
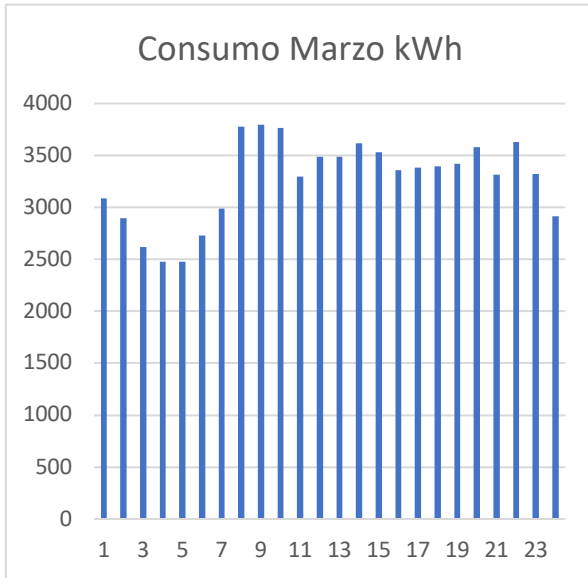
Los horarios de los periodos en la península son:

	0_1	1_2	2_3	3_4	4_5	5_6	6_7	7_8	8_9	9_10	10_11	11_12	12_13	13_14	14_15	15_16	16_17	17_18	18_19	19_20	20_21	21_22	22_23	23_24
Enero	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Febrero	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Marzo	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4
Abril	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
Mayo	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
1ª Quincena Junio	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
2ª Quincena Junio	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2
Julio	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2
Agosto, Sab, Dom Y Festivos Nacionales	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
Septiembre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
Octubre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
Noviembre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4
Diciembre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2

Ilustración 12: División de periodos Tarifa 6.1.TD. Fuente: Energigreen.

A continuación se muestran los consumos mensuales por horas:





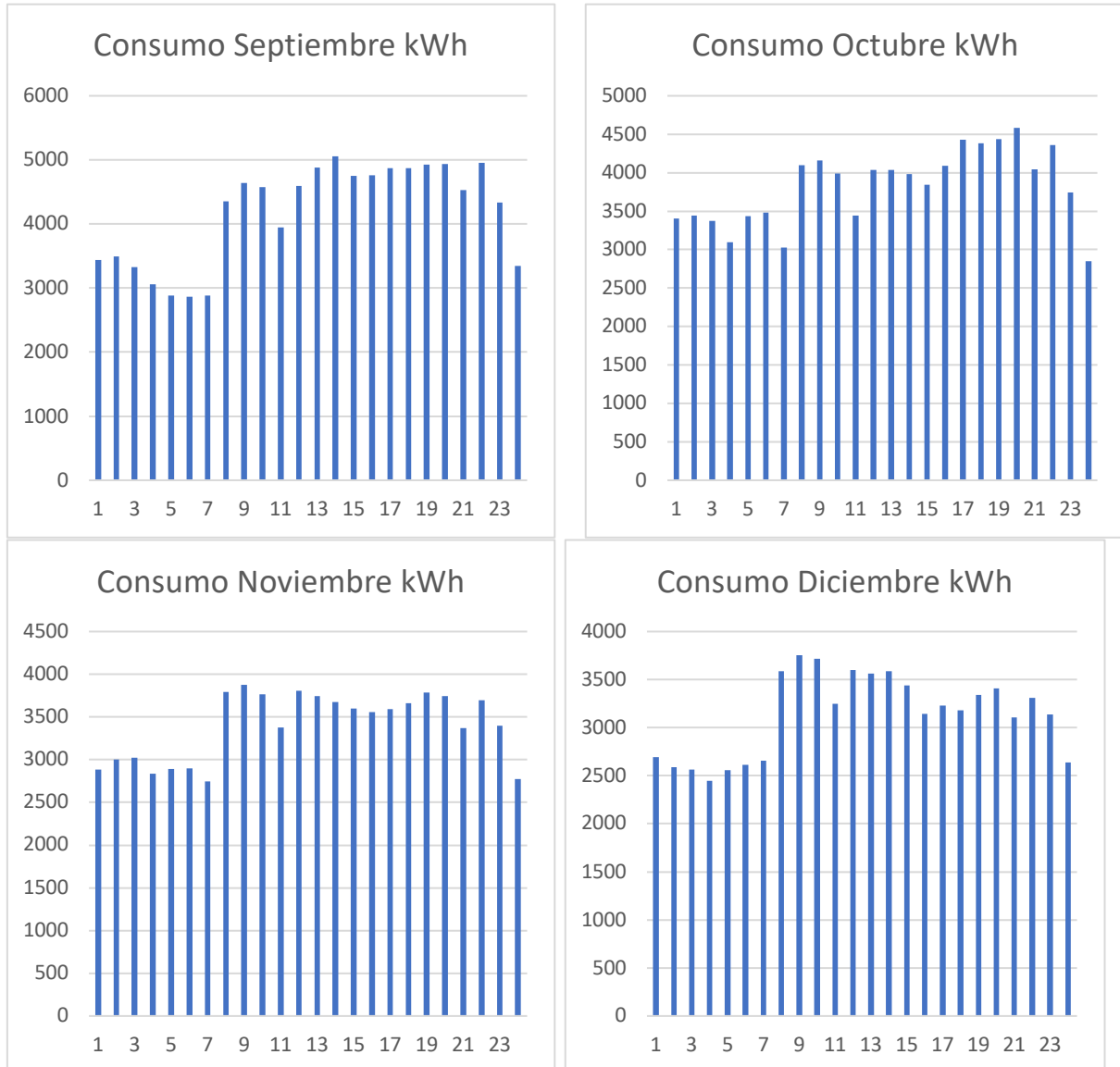


Ilustración 13: Consumo Mensual por horas. Fuente: Elaboración propia

A pesar de que los consumo punta varían de un mes a otro, es interesante comprobar como la forma de la gráfica que se describe es prácticamente la misma debido a los horarios establecidos en la empresa. En la madrugada hay menos actividad de producción, a las 09:00 y 18:00 se dan picos de consumo dado que es la zona horaria de mayor explotación, mientras que a las 13:00 y a las 15:00 aparece una disminución marcada puesto que son las horas de receso de los trabajadores.

Será importante también conocer los consumos eléctricos en los distintos periodos:

Periodo de Facturación	Consumo total [kWh]
P1	129817
P2	166038
P3	80167
P4	135735
P5	119874
P6	338999

Tabla 4: Consumo energético por periodos de facturación. Fuente: Elaboración propia.

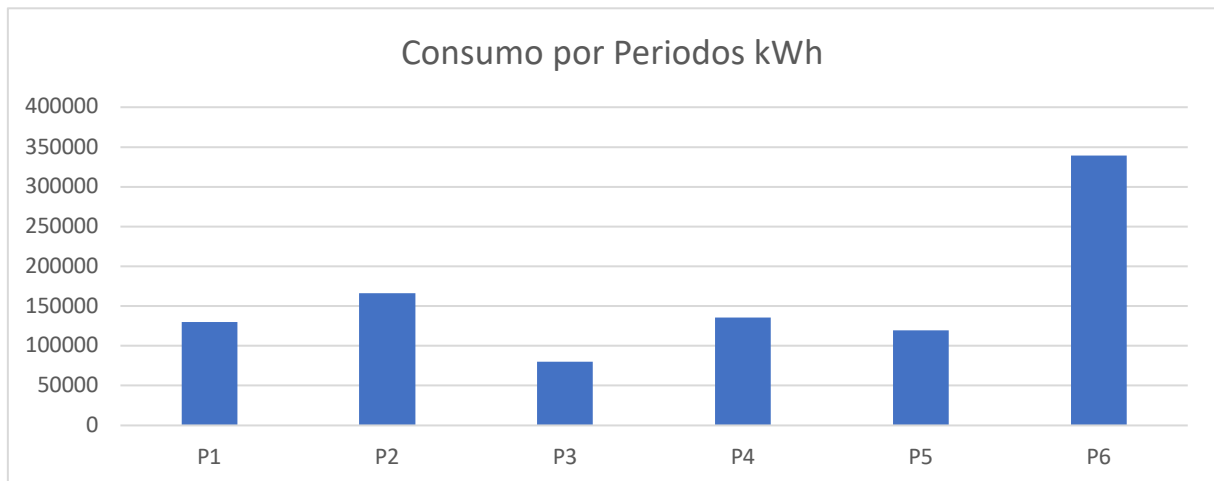


Ilustración 14: Gráfico de columnas de consumo energético por periodos. Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que los picos de consumo de la fábrica no suelen darse durante el periodo de facturación P6, dado que es un periodo que se mantiene constante de 00:00 a 09:00 durante todo el año, el consumo total en este es muy superior al resto. Como se verá más adelante en el apartado económico, este periodo es el más barato de los 6 ya que fomenta la eficiencia energética del sistema.

7.3. Componentes de la Instalación

En este apartado se tratarán los sistemas propuestos para una instalación fotovoltaica de autoconsumo con compensación.

- **Panel Fotovoltaico**



Ilustración 15: Panel Fotovoltaico. Fuente: Google Images

Un panel fotovoltaico es un dispositivo formado por células fotovoltaicas compuestas por semiconductores capaces de transformar la irradiación solar en corriente continua.

Se propone el RSM156-6-440M para la instalación. Manufacturado por la compañía Risen Solar Energy, una de las grandes líderes de generación energética para residenciales, comerciales y utilitarios. Son paneles de silicio MONO-PERC, este tipo de módulos presenta una eficiencia superior al resto de módulos convencionales, obteniendo una eficiencia mínima de 20,3% en condiciones estándar de medida (CEM). Se definen las condiciones CEM como [8]:

- Irradiación: 1000W/m²
- Espectro AM: 1,5
- Incidencia normal
- Temperatura de célula: 25°

Bajo estas condiciones, la tolerancia de potencia de este tipo de módulos será de entre 0 y +5W. La garantía de potencia que ofrece el fabricante a los 25 años es del 80%. El aislamiento será tal que aguanta hasta una tensión del sistema de 1500V.

Dichos módulos fotovoltaicos cumplen con las normativas y certificados necesarios de uso. En concreto:

- EC61215: Crystalline silicon terrestrial photovoltaic modules.
- IEC61730: Photovoltaic module safety qualification.
- Certificado de seguridad TÜV clase II.

Todos los paneles utilizados en el proyecto serán del mismo modelo y fabricante, y se colocarán formando series y paralelos que permitan conseguir la entrada necesaria en el inversor a la par que la potencia del campo generador tenga un rendimiento máximo.

A continuación las características fundamentales del panel:

Modelo	Risen RSM156-6-440M
Potencia pico	440 W
Eficiencia	20,3%
Temperatura Nominal de Operación (TONC)	45,0 °C
Coefficiente de variación de Potencia con la T^º	-0,37 %/°C
Coefficiente de variación de Voc con la T^º	-0,29 %/°C
Nº de células	156
Dimensiones	2178x996x40 mm
Peso	25,50 kg

Tabla 5: Ficha Técnica RSM156-440M. Fuente: Risen Solar.

Parámetros de funcionamiento (Condiciones Estándar de Medida, CEM)

Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmpp)	43.80 V
Intensidad Punto de Máxima Potencia (Impp)	10.06 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	52.62 V
Intensidad de Cortocircuito (Isc)	10.67 A

Parámetros de funcionamiento (TONC)

Tensión de Circuito Abierto Máxima (Voc)	48.40 V
Tensión Punto de Máxima Potencia Mínima (Vmpp)	40.10 V

- **Inversor:**

SUN2000-100KTL-M1
Inversor de String Inteligente



Ilustración 16: Inversor 100KTL. Fuente: Huawei.

Un inversor es un dispositivo de electrónica de potencia capaz de convertir la energía continua en energía en corriente alterna. Adapta la generación del sistema fotovoltaico a las condiciones impuestas por el punto de interconexión que se utilizará para el vertido de la energía excedentaria. La distorsión armónica de las señales procedentes del inversor serán menores al 3% (THD). Además, asegura el funcionamiento automático y trabajar en el punto de máxima potencia (MPP) bajo distintas condiciones de operación. Los inversores están equipados con sistemas de protecciones que permitirán la desconexión/conexión en caso de falta, lo que además de su evidente utilidad, supone una notable reducción en los costes evitando la instalación de un armario de protecciones adicional en el lado de corriente continua.

Para este proyecto se propone el inversor SUN2000-100KTL-M1 de la marca Huawei. La forma correcta de dimensionar un inversor es mediante la tensión máxima por MPPT. Se sumará la tensión de cada módulo en serie por string y se comprobará que sea inferior a la máxima admisible por el inversor. Habrá que mirar también el tipo de conexionado que se hace de los strings a los correspondientes MPPT's. En la industria fotovoltaica, es habitual que el inversor sea en torno a 0,8 veces la potencia nominal del campo generador.

Las protecciones incluidas en el inversor propuesto son:

Este tipo de inversores tiene un sistema que conecta un conjunto de dos strings en paralelo por cada MPPT. En caso de que uno de ellos no funcione, su equivalente puede hacer circular una corriente inversa por el mismo. La máxima corriente de cortocircuito en este caso es de 13A.

Como se define en la normativa IEC62548, en caso de cortocircuito, la corriente que debe soportar los módulos debe ser inferior o igual a la corriente máxima de generación, por lo que se cumple.

Los inversores de Huawei tienen un periodo de garantía de 10 años ampliables [9].

A continuación, datos relevantes de la ficha técnica:

Modelo	SUN2000-100-KTL-M1 400Vac
Unidades en proyecto	1 uds
Potencia nominal	100 kVA
Rango de tensión MPP	200-1000 V
Eficiencia	98%
Factor de potencia	1
Distorsión armónica (intensidad)	< 3%
Conexión AC	Conexión a cuadro de BT

Tabla 6: Ficha técnica SUN100KTL. Fuente: Huawei.

Parámetros de funcionamiento:

Tensión Máxima DC	1 100 V
Nº de MPPT independientes	10
Máxima Intensidad de Cortocircuito por cada MPPT	40 A
Tensión de salida	400 V
Frecuencia de salida	50 Hz

Protecciones	
Dispositivo de desconexión del lado CC	Sí
Protección contra funcionamiento en isla	Sí
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí
Protección contra polaridad inversa de CC	Sí
Monitorización de fallas en strings de sistemas fotovoltaicos	Sí
Protector contra sobretensiones de CC	Tipo II
Protector contra sobretensiones de CA	Tipo II
Detección de aislamiento de CC	Sí
Unidad de monitorización de la intensidad Residual	Sí

• **Estructura Soporte:**

Se propone un sistema de fijación coplanar (se justifica en el apartado de cálculo de inclinación y número de paneles óptimo), formado por perfiles y accesorios de aluminio extruido, con la opción de aplicar un tratamiento superficial para evitar la corrosión (muy aconsejable, sobre todo en ambientes de corrosividad agresiva). La fijación coplanar consiste en utilizar una estructura soporte que sujetará los módulos en el mismo grado de inclinación que la superficie inicial (las marquesinas).

La estructura soporte seleccionada agrupa características tales:

- Transmisión de carga a la estructura principal mediante correas.
- Juntas EDPM y adhesivos de doble cara para garantizar la estanquidad.
- Resistencia a gradientes térmicos y rayos UV.
- Opción a tuercas antirrobo.

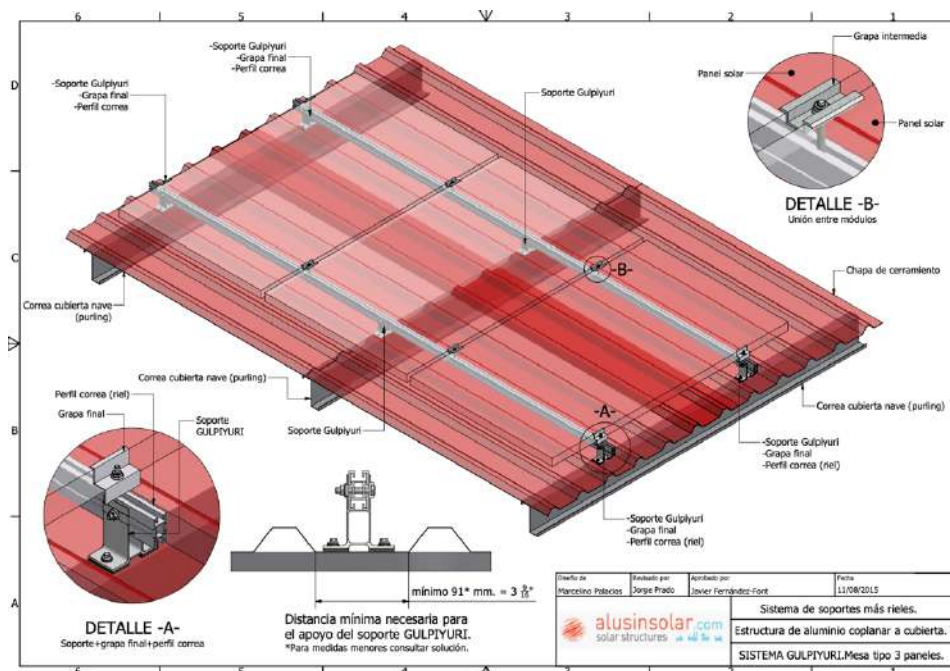


Ilustración 17: Sistema Gulpiyuri. Fuente: Ficha Técnica alusinsolar

7.4. Cálculos Justificativos – Módulos e Inversor

En anteriores apartados se han comentado las características técnicas referentes a los módulos fotovoltaicos e inversor escogidos, en el siguiente, se justificará la razón de su elección.

Dado que la empresa tiene grandes consumos, el criterio que se ha seguido en el proceso de elección de los dispositivos, es optimizar el aprovechamiento de la superficie disponible para la instalación (y con ello maximizar la potencia instalada).

Se escogieron distintas marcas de módulos punteras, de distintas potencias pico, y se pusieron bajo estudio. Se considera oportuno comparar paneles de distintas potencias, debido a que a mayor la potencia pico del módulo, mayor potencia instalada, sin embargo, la superficie del módulo es mayor (con lo que se podrán instalar menos) y el coste es superior.

A continuación, se presentan las características relevantes para este estudio de los módulos seleccionados:

Módulo	Potencia pico módulo	Superficie módulos	Coste/módulo (€)
RSM156-6-440M	440	2,169	145
VERTEX-550	550	2,556	230
JKM530M-72HL4	530	2,470	205

Tabla 7: Comparativa módulos. Fuente: Elaboración Propia.

Dichos módulos se configuraron con inversores afines a sus potencias instaladas. Para todos se utilizó la marca HUAWEI, el módulo Risen se configuró con un SUN2000-100KTL mientras que el Triana Solar y el Jinko Solar, se configuraron con un SUN2000-111KTL (de mayor potencia).

A continuación, se presentan las características relevantes para este estudio de los inversores seleccionados:

Inversor	Potencia Inversor (kW)	Coste (€)
SUN2000-100KTL-400	100	6036
SUN2000-111KTL-440	111	6700

Tabla 8: Comparativa Inversores. Fuente: Elaboración Propia.

De esta forma se configuraron 3 modelos de instalación fotovoltaica distintos:

Inversor	Módulo	Nº módulos	Potencia instalación	PR	€/kW
100KTL-400	RSM156-6-440M	305	134200	81,48%	0,3295
111KTL-440	VERTEX-550	259	142450	81,38%	0,4182
111KTL-441	JKM530M-72HL4	268	142040	81,82%	0,3868

Tabla 9: Comparativa Instalaciones. Fuente: Elaboración Propia.

El Performance Ratio, es muy similar en los 3 casos, por lo que deja de ser un referente a la hora de seleccionar el modelo que se va a seguir. El cociente coste por kW instalado es de gran utilidad, en este no va incluido el coste del inversor, el cual en el caso de las dos últimas instalaciones es más costoso (aunque la diferencia de precios no es significativa). El más eficiente en el coste por kW instalado, es la instalación con el Risen-440 y el Inversor SUN2000-100KTL-400. A pesar de ser la potencia instalada la menor, se valora el coste de la potencia instalada ya que reducirá el periodo de amortización.

7.5. Cálculos Justificativos – CTE

Una vez se han seleccionado los dispositivos que se van a utilizar, se deberá hacer un estudio de la carga adicional que va a soportar las estructuras de las marquesinas consultando el Código Técnico de Edificación.

A continuación, se presentan el peso y la sobrecarga por m² que va a suponer la inclusión de cada elemento:

Elemento	Peso (por módulo FV)	Sobrecarga (kg/m ²)
Módulo fotovoltaico	25,5 kg	11,7
Perfiles de aluminio extruido, tornillería y juntas EDPM	5 kg por cada módulo	2,3
Bandeja porta-cables + cableado	1,7 kg por cada módulo	0,85
TOTAL	32,2	14,85

Tabla 10: Sobrecargas. Fuente: elaboración propia

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 11: Valores Característicos de sobrecarga de uso. Fuente: Documento Básico SE-AE

Dada la tabla de valores característicos de sobrecarga, se sabe que la sobrecarga máxima en zonas de tráfico y de aparcamientos para vehículos ligeros es de 2kN/m². Es lo mismo que decir que la sobrecarga máxima es de 203,87kg/m², por lo que el sistema propuesto cumple con los valores de sobrecarga indicados en el CTE DB SE-AE en la tabla 3.1.

7.6. Cableado de Baja Tensión

Los cálculos y regulación actual conforme al cableado de baja tensión se recoge en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, instrucción ITC 40 “Instalaciones de Baja Tensión”.

En el punto 5, hace dicta la obligatoriedad de que los cables de conexión estén dimensionados para soportar al menos el 125% de la máxima intensidad del generador y que la máxima caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la red sea menor de 1,5% para la corriente nominal. [10]

La determinación de la sección mínima de un cable que va a trabajar en baja tensión, se hace correspondiendo a dos criterios:

- Criterio Térmico:

Los cables según el ITC-40 deben de estar dimensionados para soportar al menos el 125% de la máxima intensidad generada. Las intensidades máximas admisibles dependen en cada caso de la temperatura máxima que el aislamiento del conductor pueda soportar en condiciones normales y del régimen de carga [11]. En la siguiente tabla se determinan las temperaturas máximas para distintos tipos de aislamiento en funcionamiento normal y en cortocircuito:

Tipo de Aislamiento seco	Temperatura máxima °C	
	Servicio permanente	Cortocircuito t ≤ 5s
Policloruro de vinilo (PVC) S ≤ 300 mm ² S > 300 mm ²	70	160
	70	140
Polietileno reticulado (XLPE)	90	250
Etileno Propileno (EPR)	90	250

Tabla 12: Temperatura máxima. Fuente: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

Las temperaturas máximas admisibles en cables con aislamiento termoplástico suelen estar entorno a los 70°C mientras que en aislamientos termoestables entorno a los 90°C.

- Criterio de caída de tensión: El conductor por el que circula la corriente tiene una cierta resistencia que se traduce en pérdidas de potencia y caídas de tensión. El reglamento electrotécnico de baja tensión marca un límite de caída de tensión:

TRAMO	Caída de Tensión
BT DC Generación	≤ 1,5%
BT AC Generación	Max. 2%

Tabla 13: Caídas de Tensión. Fuente: Elaboración propia

La expresión que se utiliza para calcular la caída de tensión en CC es la siguiente:

$$\Delta V_{cc} = \frac{2 * L * P}{\gamma * S * V}$$

ΔV : *Caída de tensión de la línea [V]*

L : *Longitud de la línea [m]*

P : *Potencia máxima de la línea [W]*

γ : *Conductividad a 70°C ($Cu = 48 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$, $Al = 30 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$)*

S_{cc} : *Sección del conductor [mm^2]*

V : *Tensión de la línea [V]*

La expresión que se utiliza para calcular la caída de tensión en CA es la siguiente:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * L * P * \cos(\varphi)}{\gamma * S * V}$$

ΔV : *Caída de tensión de la línea [V]*

L : *Longitud de la línea [m]*

P : *Potencia máxima de la línea [W]*

γ : *Conductividad a 70°C ($Cu = 48 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$, $Al = 30 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$)*

S_{cc} : *Sección del conductor [mm^2]*

V : *Tensión de la línea [V]*

Cableado en el lado de Corriente Continua:

El cableado de corriente continua que unirá el inversor con los módulos fotovoltaicos estará fijado a la estructura soporte bajo un tubo de acero, se separarán los cables positivos de los negativos.

Cuando se realice el cálculo de caída de tensión, tomaremos como valor de tensión de la línea la mínima de los módulos, lo que corresponde a la máxima corriente circulante. De esta forma se podrá dimensionar la sección del conductor.

Los cables que habrá entre los módulos de un mismo string son cables de 4mm² que ya vienen suministrados con los paneles fotovoltaicos y se fijarán con bridas de plástico.

El cableado de las series fotovoltaicas hasta el inversor será de cables unipolares de cobre con cubierta de elastómeros termoestables tipo ZZ-F, aislamiento 1,8 kV DC - 0,6/1 kV AC.



Ilustración 18: Cableado positivo y negativo del lado de CC. Fuente: Electricidad.tienda

Características cable seleccionado para el lado de corriente continua [12]:

- Alta seguridad: Diseñado para no dañar los paneles solares.
- Resistencia a la intemperie.
- Resistencia a la abrasión, al desgarro, aceites y grasas industriales.
- Endurecimiento térmico que garantiza una vida útil de 30 años.
- Temperatura máxima de servicio de 90°C

Cableado en el lado de Corriente Alterna:

Este cableado será el que unirá eléctricamente la salida en AC del inversor con el armario de protecciones y a continuación con el punto de interconexión a la red. Por razones de seguridad, y aprovechando las obras que se van a llevar a cabo en el terreno de los aparcamientos, el cableado de CA discurrirá bajo zanja en todo su recorrido (entre generador-armario de protecciones y entre armario-punto de interconexión).

El tipo de cable seleccionado para el tramo de corriente alterna es de tipo RZ1-K (AS).



Ilustración 19: Cableado lado de CA. Fuente: RCTcables

De siguientes características [13]:

- Libres de halógenos.
- Conductor de cobre electrolítico flexible (Clase V).
- Aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) de tipo DIX3.
- Cubierta de poliolefina termoplástica de tipo DMZ-E
- Temperatura máxima de servicio 90°C.

7.7. Protecciones

Se diseñan todas las protecciones tanto del lado del sistema fotovoltaico en CC como del lado de CA para que la instalación esté protegida contra faltas del tipo: sobreintensidad, sobretensión, cortocircuitos, contactos directos e indirectos.

- **Contactos directos e indirectos:**

Según el documento regulador UNE-HD 60364-7-712:2017, una instalación fotovoltaica no puede ser considerada como una instalación de servicio eléctrico de acceso autorizado [14]. Se estima que la disposición flotante de los generadores es protección suficiente contra contactos directos o indirectos siempre y cuando la resistencia de aislamiento se mantenga por encima de unos niveles de seguridad y no ocurra un defecto a tierra. Si ocurriese esta situación, la instalación está respaldada por:

- Aislamiento doble o reforzado de los módulos fotovoltaicos, cables y cajas de conexiones [14].
- El inversor detectará la aparición de una derivación a tierra y activará una alarma.

- **Protecciones contra sobreintensidades:**

Como indica el ITC-RBT-22, todo circuito de baja tensión debe estar protegido contra faltas de sobreintensidad, para las cuales la interrupción debe lograrse en un tiempo conveniente para preservar el equipo y la seguridad [11].

Los inversores cuentan con un seccionador manual para poder hacer una separación eléctrica y poder así maniobrar todos los strings. En el lado de corriente continua como se explicó en el apartado del inversor, la instalación ya está protegida contra sobreintensidades.

En el lado de corriente alterna se tendrá que llevar a cabo el siguiente procedimiento para dimensionar correctamente las protecciones frente a sobreintensidad:

$$I < I_n < I_z$$

Siendo:

I: Corriente en la línea

I_n: Corriente nominal del fusible o interruptor automático

I_z: Corriente máxima admisible por el cable

- **Protección frente a sobretensiones:**

En la sección 23 del ITC-RBT, se trata la protección de las instalaciones eléctricas contra sobretensiones transitorias que se transmiten por la red de distribución y se originan en conmutaciones de redes, descargas atmosféricas o defectos de las mismas (en el caso de una instalación fotovoltaica únicamente las dos últimas) [11]. El nivel de sobretensión que puede aparecer en una red de baja tensión es dependiente del nivel isoceraúnico estimado, tipo de acometida aérea o subterránea o la distancia al transformador de MT/BT.

En definitiva, esta clase de faltas puede ser extremadamente dañina para el equipo si se superase la sobretensión máxima admisible.

El inversor (circuito CA) y los strings (circuito CC) contarán con una protección Categoría II mediante descargadores eléctricos diseñados de acuerdo al siguiente criterio:

$$U_n < U_s < U_{max}$$

Siendo:

U: Tensión nominal en la línea

U_s: Tensión nominal del protector de sobretensiones

U_{max}: Tensión máxima admisible de la instalación

7.8. Sistema de puesta a tierra en BT

De acuerdo al punto 8 del ITC-RBT-40, las instalaciones de generación deberán estar provistas de sistemas de puesta a tierra de forma que, en todo momento, la instalación no supere los límites establecidos por el MIE-RAT 13. Los sistemas de puesta a tierra deberán estar provistos de las condiciones técnicas requeridas para que no se produzcan transferencias de defectos a la red de distribución pública [11].

El sistema fotovoltaico en cuestión contará con una única puesta a tierra. A dicho sistema de puesta a tierra irán conectadas las masas de los siguientes dispositivos:

- Estructura soporte de los módulos: los marcos de aluminio de la estructura soporte están directamente atornillados a las marquesinas y en contacto consecuentemente de un camino a tierra independiente.
- El marco metálico del módulo así como las bandejas de cables tendrán que estar igualmente instalados al sistema de puesta a tierra.

Para realizar la instalación de puesta a tierra independiente del neutro de la empresa distribuidora se siguen los siguientes cálculos:

Siguiendo las directrices de ITC-RBT-18 (punto 9), el electrodo de puesta a tierra se dimensionará de manera que su valor de resistencia no sea superior al valor especificado para ella. En el caso más desfavorable, el ITC-RBT-18 marca que la tensión entre una masa y tierra debe ser inferior a 50V.

- Resistencia de tierra (R_t):

A continuación, los valores típicos de resistividad dependiendo de la naturaleza del terreno.

Naturaleza terreno	Resistividad en Ohm.m
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosas	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5.00
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000

Tabla 14: Resistividad del terreno. Fuente: ITC-RBT-18

Dado que el terreno que se está tratando en cuestión es un suelo pedregoso desnudo, se utilizará como valor de resistividad el más restrictivo, $3000\Omega\text{m}$.

Para una corriente de falta a tierra de 300mA (correspondiente a la sensibilidad de un interruptor diferencial), la resistencia máxima de puesta a tierra es:

$$R_{t_{max}} = \frac{V_s}{I_f}$$

Siendo:

$R_{t_{max}}$: Resistencia de tierra máxima [Ω]

V_s : Tensión de seguridad, 50V

I_f : Intensidad de falta [A]

$$R_{t_{max}} = \frac{V_s}{I_f} \rightarrow R_{t_{max}} = \frac{50}{0,3} = 166,7\Omega$$

La resistencia del electrodo de puesta a tierra será calculada mediante las fórmulas aportadas por el ITC-RBT-18.

Electrodo	Resistencia de Tierra en Ohm
Placa enterrada	$R = 0,8 \rho/P$
Pica vertical	$R = \rho/L$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2 \rho/L$
ρ , resistividad del terreno ($\text{Ohm}\cdot\text{m}$) P , perímetro de la placa (m) L , longitud de la pica o del conductor (m)	

Tabla 15: Fórmulas de Resistencia de puesta a tierra. Fuente: ITC-RBT-18

Se propone para este proyecto utilizar una puesta a tierra mediante un número n de picas verticales.

$$R_p = \frac{\rho}{L_p} = \frac{3000}{1,5} = 2000\Omega$$

Siendo:

ρ : Resistividad del terreno [$\Omega \cdot \text{m}$]

L_p : Longitud de la pica, $1,5\text{m}$

Ambas picas unidas mediante un conductor de cobre desnudo enterrado horizontalmente:

$$R_c = \frac{2 * \rho}{L_c} = \frac{2 * 3000}{20} = 300\Omega$$

Siendo:

ρ : Resistividad del terreno [$\Omega * m$]

L_c : Longitud del conductor, 20m

La resistencia de tierra es la suma del paralelo de las picas y el conductor instalado:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_c} + n * \frac{1}{R_p} \quad (EC1)$$

Dado que:

$$R_t < R_{t_max} = 166,7\Omega \quad (EC2)$$

De EC1 y EC2 se obtiene que el número de picas necesarias para la instalación es 1,5 picas. La distancia entre picas debe ser de al menos el doble de la longitud de las mismas, 3m.

Para calcular la sección del conductor de protección el ITC-RBT-19 aporta la siguiente tabla.

Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm ²)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm ²)
S ≤ 16	S (*)
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

(*) Con un mínimo de:
 2,5 mm² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y tienen una protección mecánica
 4 mm² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y no tienen una protección mecánica

Tabla 16: Sección de conductores de protección. Fuente: ITC-RBT-19

En este proyecto utilizaremos un conductor de cobre desnudo de sección 35mm², estándar en la industria y sobredimensionado frente a corrosión y desgaste.

7.9. Cálculo de la inclinación y número de paneles óptimo

En este apartado se realizarán los cálculos necesarios para determinar de forma óptima tanto el número de paneles fotovoltaicos y como están distribuidos antes de su entrada al inversor, como su correspondiente inclinación. Para ello, se realizará dicho análisis utilizando por un lado el método analítico, y por otro el método computacional con un programa fotovoltaico llamado PVsyst. Un parámetro invariable propio de la superficie es el “azimut”, ángulo de orientación de los paneles respecto al sur, en este caso 28° .

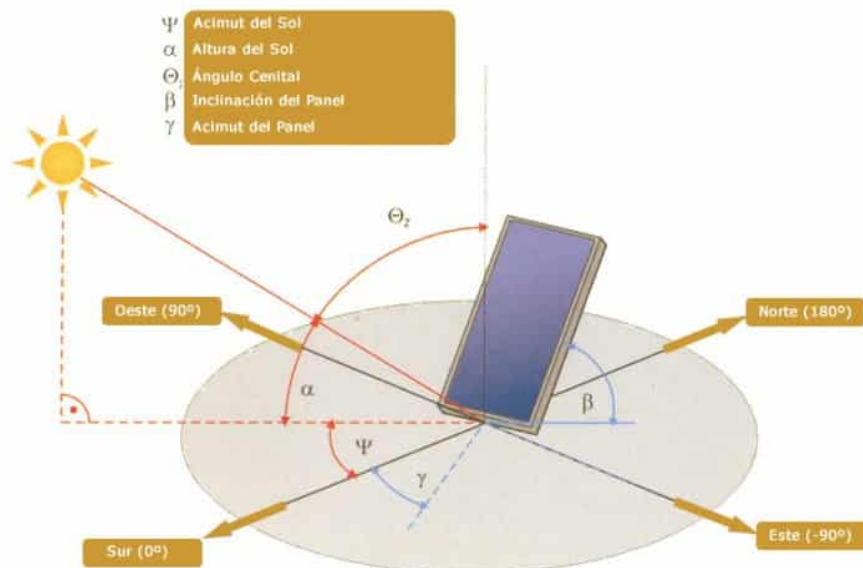


Ilustración 20: Azimut. Fuente: Google Images

7.9.1. Método Analítico

En el caso de no disponer de un programa de análisis fotovoltaico tal como PVsyst, se puede trabajar perfectamente mediante el método analítico. Por un lado se utilizará la base de datos de confianza seleccionada anteriormente para determinar la inclinación óptima del sistema, mientras que por otro lado se realizarán los cálculos pertinentes para determinar el número de módulos a implementar así como su configuración.

La base de datos de irradiación y climatología seleccionada fue PVGIS. Se probarán distintas inclinaciones de los módulos (manteniendo siempre el mismo azimut), para encontrar la óptima. Se presentan los datos de irradiación global horizontal, equivalente a 0° de inclinación.

Mes	Irradiación Global Horizontal kWh/m ² /mes
Enero	65,2
Febrero	99,3
Marzo	121,9
Abril	172,7
Mayo	210,9
Junio	215,6
Julio	251,4
Agosto	206,1
Septiembre	161,1
Octubre	101,3
Noviembre	67,8
Diciembre	66,2
Año	1739,3

Tabla 17: Irradiación global horizontal. Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan los datos de irradiación para varias inclinaciones con azimut 28°:

Mes	Irradiación Global 5° kWh/m ² /mes	Irradiación Global 10° kWh/m ² /mes	Irradiación Global 15° kWh/m ² /mes	Irradiación Global 20° kWh/m ² /mes
Enero	72,4	79,1	85,4	91,1
Febrero	108,1	116,3	123,8	130,5
Marzo	127,5	132,4	136,5	139,9
Abril	177,6	181,5	184,5	186,3
Mayo	213	213,9	213,5	212,4
Junio	216,7	216,5	214,9	212,6
Julio	253,7	254,3	253,5	251,8
Agosto	210,8	214,3	216,8	217,9
Septiembre	168,6	174,9	180,2	184,3
Octubre	107,9	113,8	119,1	123,7
Noviembre	74,4	80,5	86,1	91,3
Diciembre	75,3	84	92,1	99,6
Año	1806	1861,6	1906,5	1941,5

Tabla 18: Irradiación global en función de la inclinación. Fuente: Elaboración propia

Dado que es una instalación conectada a red se estima oportuno utilizar de entre todos, el criterio de máxima potencia, con opción a modificación por optimización del sistema. Se utiliza las siguientes expresiones:

Máximo número de módulos dimensionado para un 21% mayor que la potencia nominal del inversor:

$$N_T = \frac{P_{N\text{inversor}} * 1,15}{P_{\text{modulo}}} = \frac{110000W * 1,21}{440W} = 302,5 \text{ módulos}$$

Máximo número de módulos por string:

$$N_s = \frac{V_{inv}}{V_{mod}} = \frac{720V}{39,38V} = 18,28 \text{ módulos}$$

Máximo número de strings:

$$N_p = \frac{N_T}{N_s} = 16,54 \text{ strings}$$

Siendo:

$P_{N\text{inversor}}$: Potencia nominal del inversor [W]

P_{modulo} : Potencia nominal del módulo [W]

V_{inv} : Tensión del punto óptimo del inversor [V]

V_{mod} : Tensión nominal del módulo en punto de potencia máxima [V]

Analizando las características de los módulos e inversor seleccionados, el número máximo de módulos a instalar siguiendo el método de máxima potencia, es de 302 módulos. Se recuerda que el número máximo de módulos en la superficie disponible fue de 301 módulos.

Dado que tanto el número de strings como el de módulos en serie debe ser un entero, se establece que el número máximo de módulos es 288. Por lo que se supone una potencia

instalada de 127kWp. Como los consumos de la empresa son muy elevados, se tratará de maximizar la potencia instalada. Con lo consecuente, se evaluará la implantación de la instalación de 288 módulos fotovoltaicos.

Antes de acometer la instalación de los 288 módulos con los dispositivos seleccionados, se deberán comprobar varios límites de seguridad que no deberán sobrepasarse:

✓. Tensión máxima del módulo en ciclo abierto debe ser inferior a la tensión máxima del inversor, en este caso:

$$V_{\max\text{salida}}(\text{conjunto de módulos}) = 53,23V * 18 = 940,14V;$$

$$V_{\max\text{inversor}} = 1100V;$$

$$V_{\max\text{salida}} < V_{\max\text{inversor}}$$

✓. Corriente máxima de entrada al inversor si se trabaja en el punto de máxima potencia:

$$I_{\max,pm} = 156,5A; \quad I_{\max,pm\text{inversor}} = 320A;$$

$$I_{\max,pm} < I_{\max,pm\text{inversor}};$$

✓. Corriente máxima de entrada al inversor si se trabaja en cortocircuito:

$$I_{\max,cc} = 166,1A; \quad I_{\max,cc\text{inversor}} = 800A;$$

$$I_{\max,cc} < I_{\max,cc\text{inversor}};$$

Tras el dimensionamiento mediante método analítico, la conclusión es: Para el usuario analizado, y la superficie disponible, la mejor instalación fotovoltaica es aquella que tiene una inclinación de 0° con sistemas soporte gulpiyuri (evitando sombras cercanas). Además se potencia la cantidad de módulos fotovoltaicos llegando hasta un total de 288, en disposición de 18 módulos en cada uno de los 16 strings. Remarcar que dicha instalación cumplirá sobradamente con los parámetros técnicos de seguridad para la propia instalación.

7.9.2. Método Computacional - PVsyst

En este apartado se dimensionará la instalación fotovoltaica utilizando un programa informático que permitirá obtener resultados más certeros. El programa que se utilizará para el dimensionamiento computacional es PVsyst, un software que permite el análisis y estudio de cualquier sistema fotovoltaico. Este programa tiene un gran reconocimiento en la industria fotovoltaica dadas las múltiples bases de datos que contiene. Permitirá el dimensionamiento de cualquier tipo de instalación teniendo en cuenta irradiación global, temperaturas, humedad relativa, turbidez, velocidad de viento propios de la orografía seleccionada. Se podrá dimensionar tanto sistemas fotovoltaicos aislados como conectados a red. Posee todas las herramientas necesarias para hacer un diseño fiel al que se va a hacer en la realidad y obtener todos los datos necesarios en detalle. Es una herramienta de pago, pero con facilidades para estudiantes. [15]

¿Cómo se ha dimensionado el proyecto bajo estudio?

- En primer lugar, se debe introducir las coordenadas geográficas donde se colocará el campo generador. En este caso las coordenadas introducidas fueron latitud 39,92°N y longitud -5,69°W. Una vez seleccionada la localización se debe escoger la base de datos climatológicos, en este caso (como ya se explicó en el apartado 8.1) se utilizó PVGIS.
- En el apartado de “Orientación”, se fija el tipo de campo ya sea plano de orientación fijo o distintas orientaciones, en este caso se utilizó un único plano inclinado fijo. A continuación se indican los ángulos relevantes del plano, azimut e inclinación (5°,28°).
- El apartado “Sistema” es de sumo interés. En este se marcará, tanto el tipo de modulo como el tipo de inversor fotovoltaico que se va a utilizar en el proyecto. Estos son archivos del tipo .PAM o .OND. La lista de módulos e inversores que incluye PVsyst es amplia, sin embargo, de no tener acceso a un dispositivo a través de la base de datos incluida con PVsyst, cualquier fabricante fotovoltaico tiene a disposición los archivos correspondientes a sus componentes en PVsyst. En este caso como ya se ha mencionado, se seleccionó el módulo RISEN SOLAR 156-6-440M y el inversor SUN2000-100KTL-

M1 (Huawei Technologies). Además de esto se diseñó un conjunto de 16 cadenas con 18 módulos cada uno (un total de 288).

- En el apartado de “Perdidas Detalladas”, se dimensionan distintos parámetros que van a interferir en el rendimiento de la instalación fotovoltaica, también muy importantes de contemplar.
 - Perdidas térmicas: de los tres tipos de montaje se escoge el semi-integrado con conducto de aire.
 - Perdidas óhmicas: Se utilizaron los valores por defecto.
 - Calidad del módulo -LID- Desajuste: Se utilizaron los valores por defecto.
 - Perdidas por suciedad: Se utilizaron los valores por defecto.
- En el apartado de “Autoconsumo”, se introdujeron los valores de consumo mensuales de la industria a lo largo de un año.

Si fuese necesario, PVSyst contiene una herramienta capaz de calcular las sombras que se producirán a lo largo del día sobre los módulos a causa de edificaciones o vegetación cercana. Esto se calcula a través de un archivo de tipo .hor, que genera una base de datos. En el caso de estudio, no se ha necesitado hacer uso de dicha herramienta ya que, debido a la altura y distancia de las construcciones cercanas, no se generarán sombras.

El apartado diseñado como “Perdidas Detalladas”, después de la simulación, se muestra como un diagrama de Sankey, un tipo de diagrama de flujo en el cual se dibuja una gran flecha que representa la energía captada, a partir de la cual salen otras flechas de anchuras proporcionales a cada una de las pérdidas que se van a dar. Este tipo de diagramas es de grandísima utilidad para conocer el rendimiento de la instalación, así como la distribución de energía entre usuario y red.

Diagrama de pérdida para "Simulación 1" - año

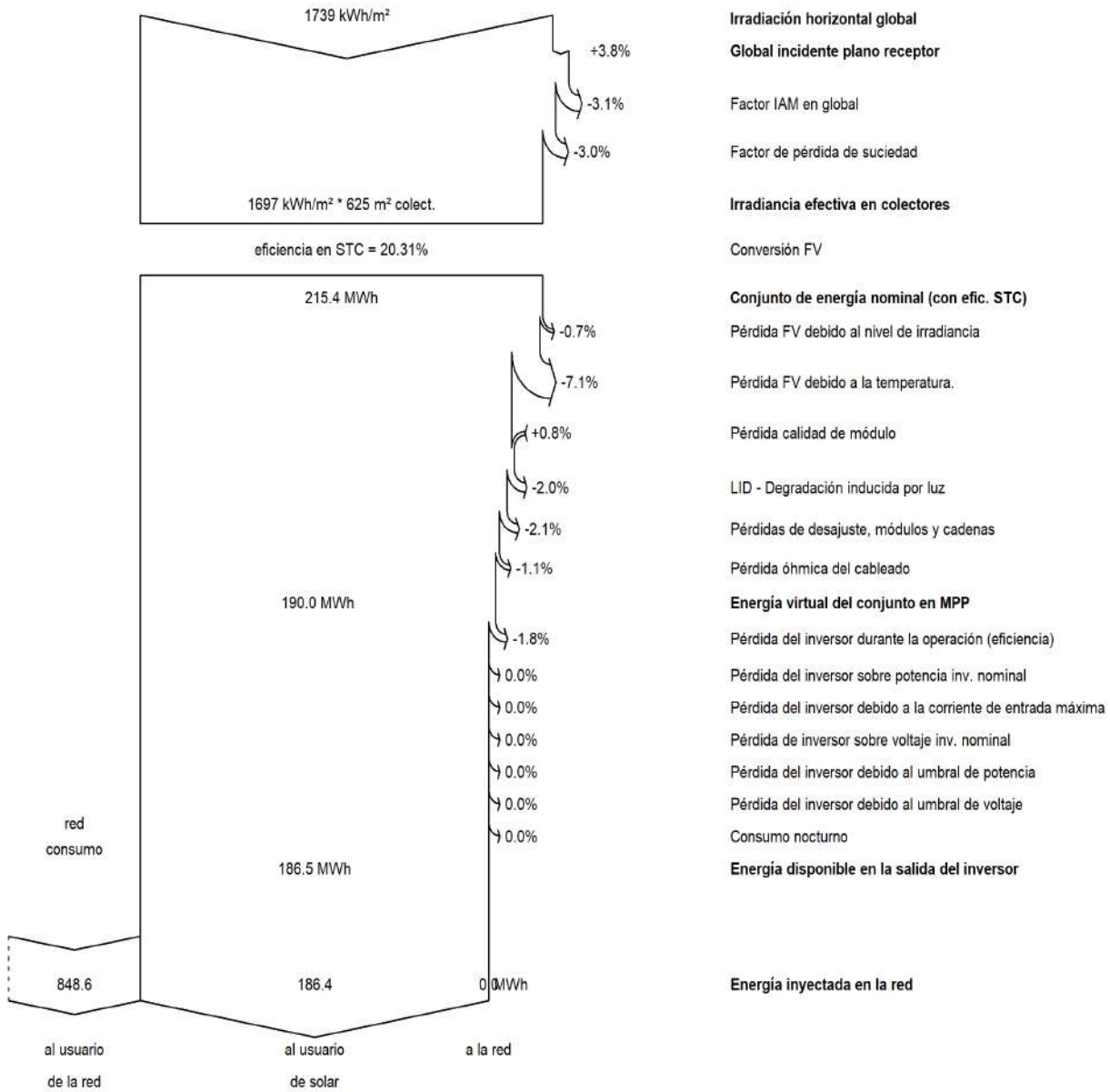


Ilustración 22: Diagrama de Sankey. Fuente: PVsyst

Una vez se configuro el programa de análisis computacional, este realiza una simulación por horas. Se recogen todos los valores relevantes en un informe que genera PVsyst de 6 paginas (de donde se obtuvo el diagrama de Sankey anterior).

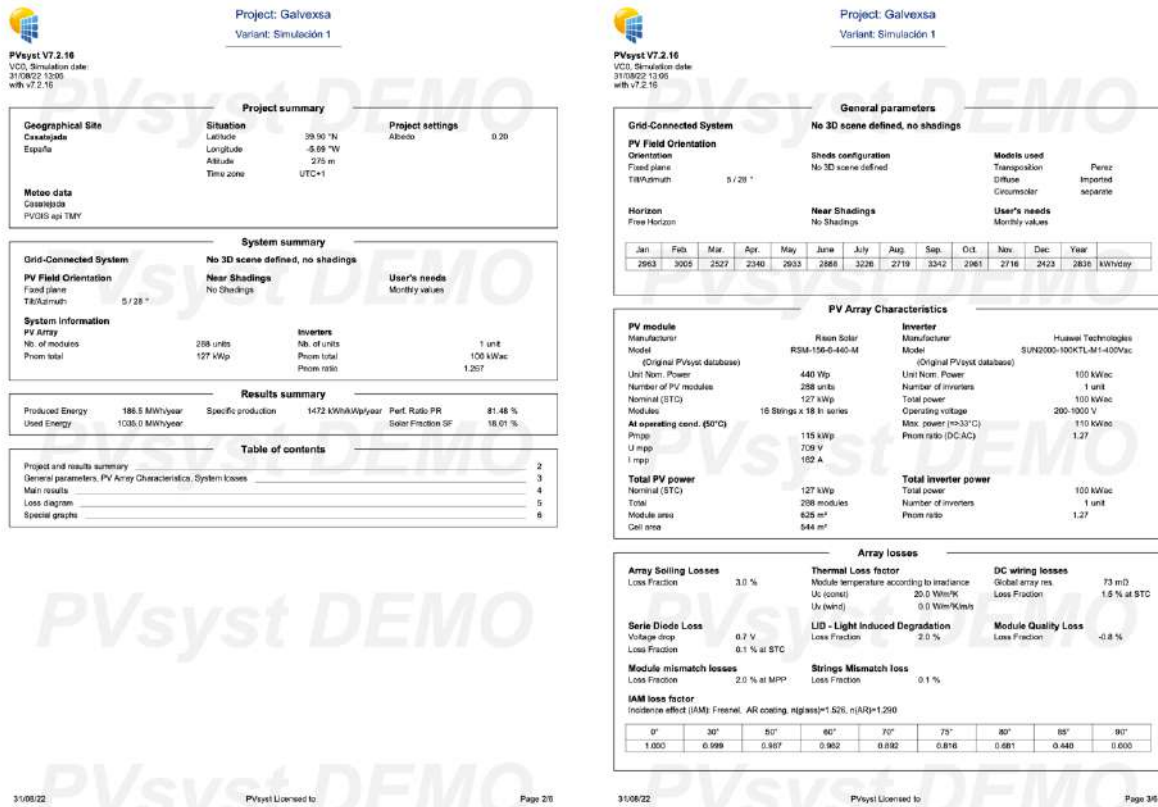


Ilustración 23: Informe PVsyst. Fuente: PVsyst

Se analizarán una serie de parámetros arrojados por dicho informe que se consideran importantes para el estudio de la instalación fotovoltaica, tales como:

- E_Array: Energía captada por los módulos fotovoltaicos.
- E_User: Energía total consumida por el usuario a lo largo del día.
- E_Solar: Energía autoconsumida (E_Array - Perdidas).
- E_Grid: Energía procedente de la instalación fotovoltaica inyectada a la red (excedentes).
- EFr_Grid: Energía que el usuario consume proveniente de la red eléctrica.

Dado que los consumos de la fábrica de galvanizado son tan elevados, el sentido común indica que, la energía producida por la instalación y vertida a la red va a ser prácticamente nula, lo que

se traduce en la búsqueda de la mayor potencia de instalación posible. Para confirmar esta hipótesis, se compararán escenarios de distintas potencias instaladas.

Para ejecutar dicha comparativa, se tendrán en cuenta los siguientes parámetros técnicos y económicos:

1. E_Solar: Energía autoconsumida. Se obtendrá desde PVsyst.
2. EFr_Grid: Energía que el usuario consume proveniente de la red eléctrica. Se obtendrá desde PVsyst.
3. E_Grid: Energía procedente de la instalación fotovoltaica inyectada a la red (excedentes). Se obtendrá desde PVsyst.
4. Ahorro año 1: Permitirá hacerse una idea del impacto inicial de la instalación.
5. Payback: Es un término empleado para determinar el retorno que se puede obtener en la inversión de un nuevo proyecto. Su utilidad se justifica por la necesidad de conocer cuando empezará a ser rentable una inversión. El Payback se calcula como:

$$PB = \frac{\textit{Inversión inicial}}{\textit{Resultado promedio del flujo de caja}};$$

Para determinar la inversión inicial se considerarán los costes de los módulos e inversor instalados. Dados los módulos y el inversor seleccionados, se considera un coste de 284€/kW instalado en módulos y 80-120€/kW instalado en el inversor. Se consideran también costes variables los de estructuras y material eléctrico mientras otros tales como mano de obra, seguridad y salud, tramitación, ingeniería se consideran constantes.

Por otro lado, para determinar el resultado promedio del flujo de caja, se tendrán en cuenta los ahorros en la factura de la luz por vertido a red (aunque en la hipótesis planteada sean prácticamente nulos) con un factor de 0,03€/kW, y el autoconsumo producido con un factor de 0,4€/kW (precio menor que el actual pero con proyección a que se temple la situación eléctrica nacional).

Se comparará la potencia instalada respecto a la máxima posible. Se analizarán los escenarios de 100%, 80%, 60%, 40%:

Escenario	100%	80%	60%	40%
Potencia instalada [kW]	127	101,6	60,96	24,4
Energía autoconsumida [kW]	186440	149100	90660	34193
Energía consumida de la red [kW]	848570	885920	944360	100820
Vertido a red [kW]	26	0	0	0
Ahorro Año 1	74576	59640	36264	13677,2
PayBack	1,506	1,638	2,050	3,897

Tabla 19: Comparación de Potencias Instaladas. Fuente: Elaboración propia

Se representan los datos obtenidos para facilitar el análisis:

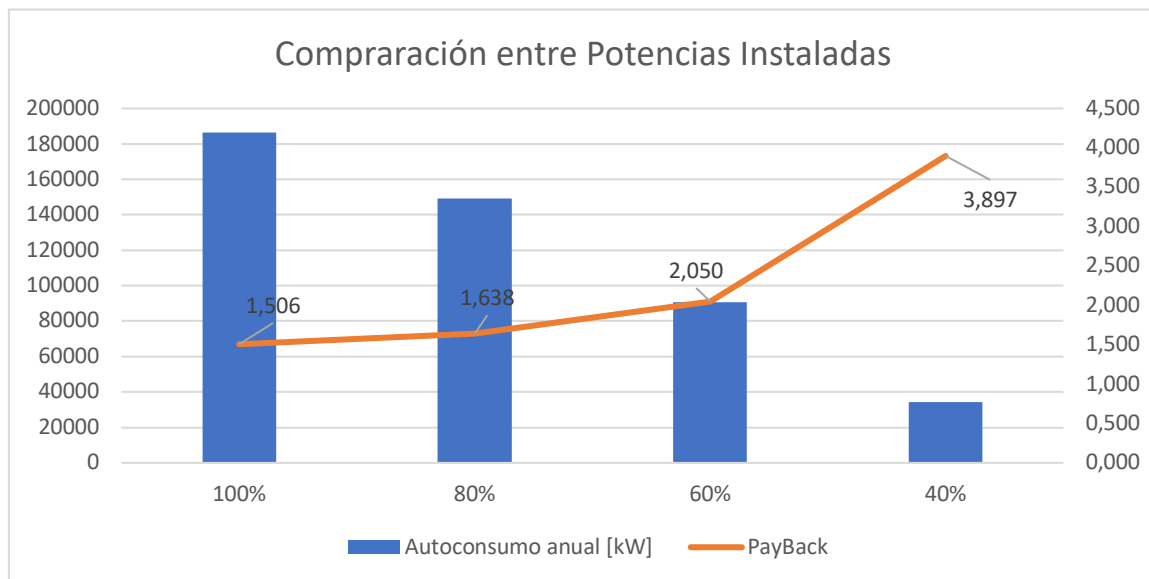


Ilustración 24: Comparación entre Potencias instaladas. Fuente: Elaboración propia

Tal y como se predijo en la hipótesis planteada, dados los grandes consumos de la fábrica galvanizadora, los excedentes son prácticamente nulos. Lo que significa que la principal fuente de ahorro es el autoconsumo generado por la instalación fotovoltaica, con lo cual, a mayor potencia instalada en principio mayor será el ahorro a corto plazo. Para comprobar el retorno de la inversión se hace uso del término económico PayBack, el cual corrobora por segunda

partida que la instalación de mayor potencia será la adecuada dado que el tiempo de retorno es el menor de todos.

Dado la instalación fotovoltaica obtenida, se presentan los datos obtenidos mediante el programa PVsyst.

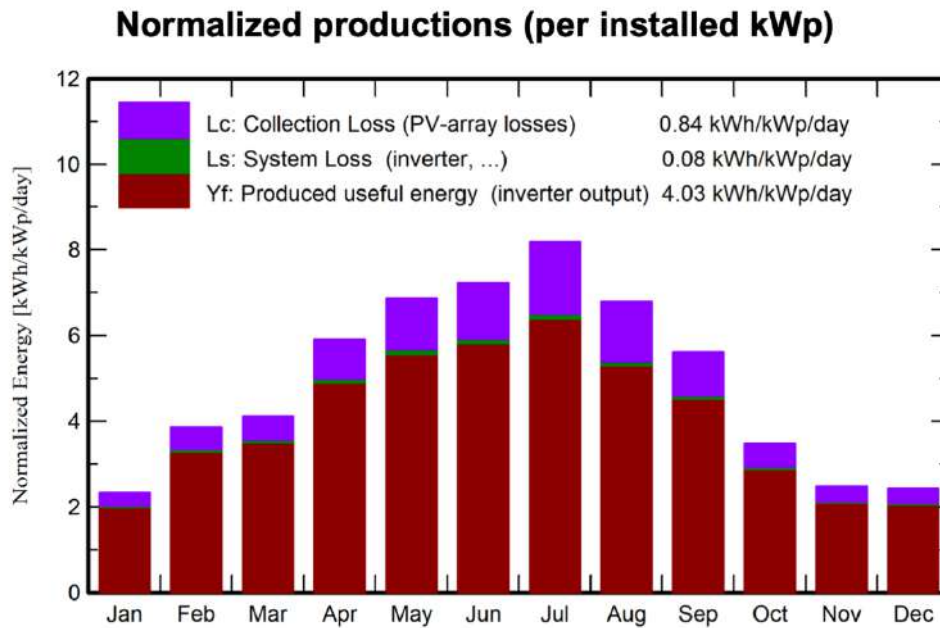


Ilustración 25: Diagrama de Producciones normalizadas. Fuente: PVsyst

Simulación 1										
Balances y resultados principales										
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EfrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Enero	65.2	28.18	7.25	72.4	66.1	7980	91850	7834	-1.84	84016
Febrero	99.3	29.19	8.32	108.1	100.5	11894	84132	11674	-1.57	72458
Marzo	121.9	52.98	9.70	127.5	119.6	14039	78333	13774	-1.55	64559
Abril	172.7	57.36	13.79	177.6	167.7	19011	70200	18608	40.74	51592
Mayo	210.9	71.19	18.34	213.0	201.7	22305	90918	21889	-1.30	69029
Junio	215.6	66.40	20.39	216.7	205.2	22532	86640	22113	-1.21	64527
Julio	251.4	52.72	25.75	253.7	240.5	25626	100010	25155	-1.24	74855
Agosto	206.1	47.26	28.02	210.8	200.0	21204	84285	20821	-1.44	63464
Septiembre	161.1	44.44	22.08	168.6	159.0	17512	100273	17194	-1.46	83079
Octubre	101.3	42.39	17.42	107.9	100.5	11504	91782	11297	-1.64	80485
Noviembre	67.8	30.83	11.10	74.4	68.3	8142	81480	7997	-1.80	73483
Diciembre	66.2	23.20	6.82	75.3	68.0	8231	75112	8083	-1.86	67029
Año	1739.3	546.16	15.80	1806.0	1697.0	189981	1035014	186439	23.84	848575

Tabla 20: Balances y Resultados. Fuente: PVsyst

Diagrama de pérdida para "Simulación 1" - año

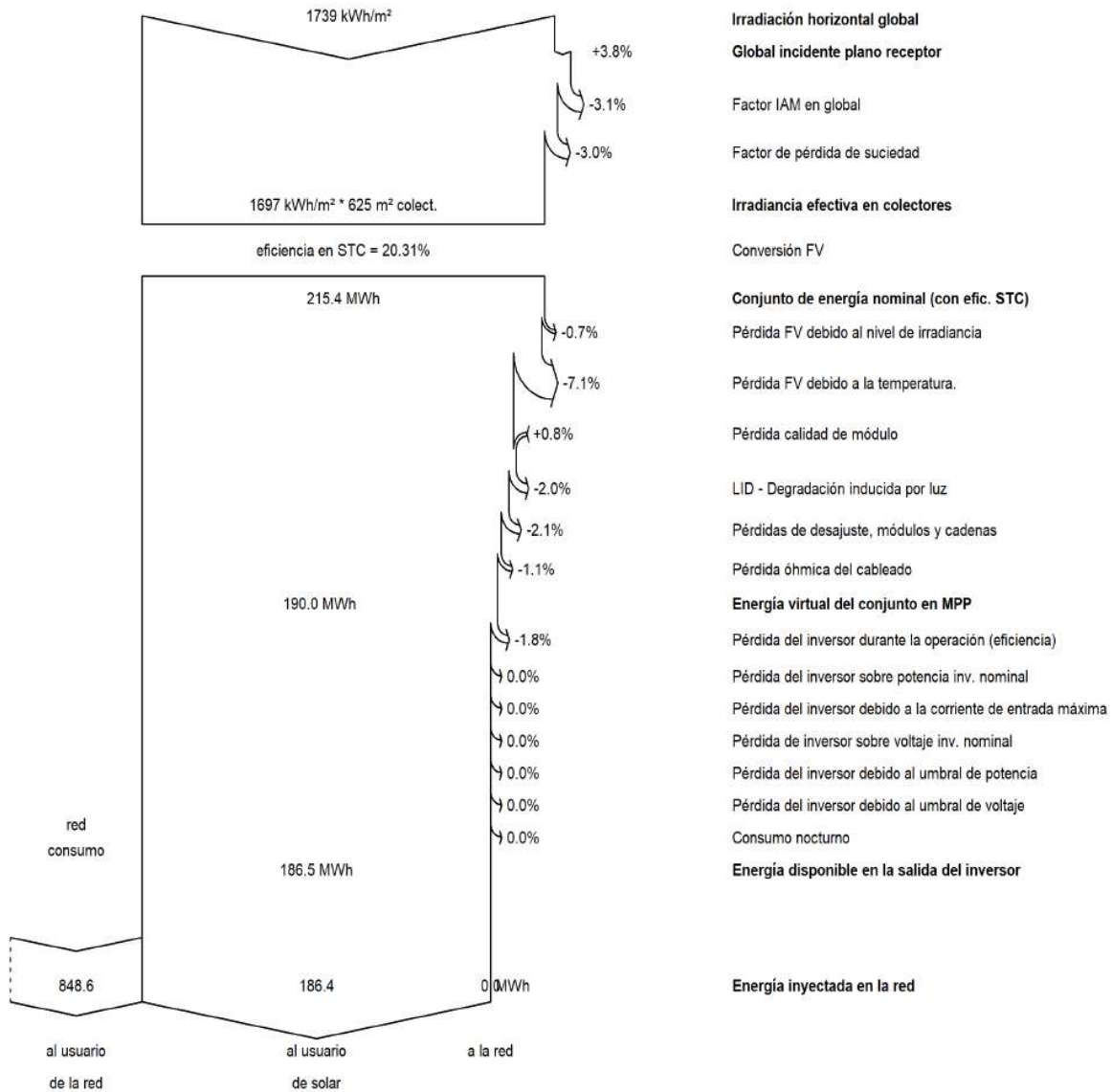


Ilustración 26: Diagrama de Sankey. Fuente: PVsyst

8. IMPACTO DE LA INSTALACIÓN

Dada la instalación seleccionada, en este apartado se determinará el impacto que ha tenido sobre el usuario y el medioambiente.

Se presenta los datos de generación que se obtuvieron en el análisis computacional para hacer un estudio más certero.

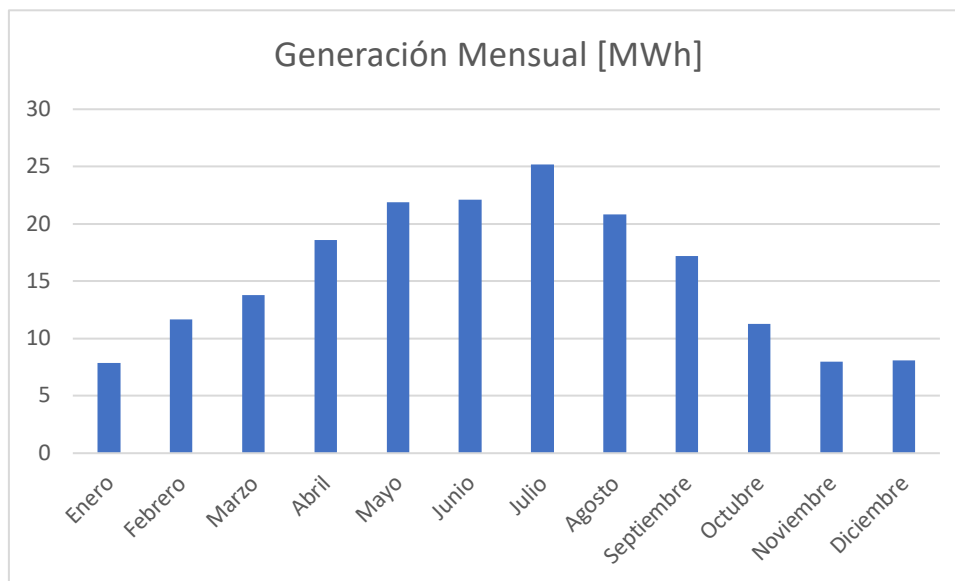
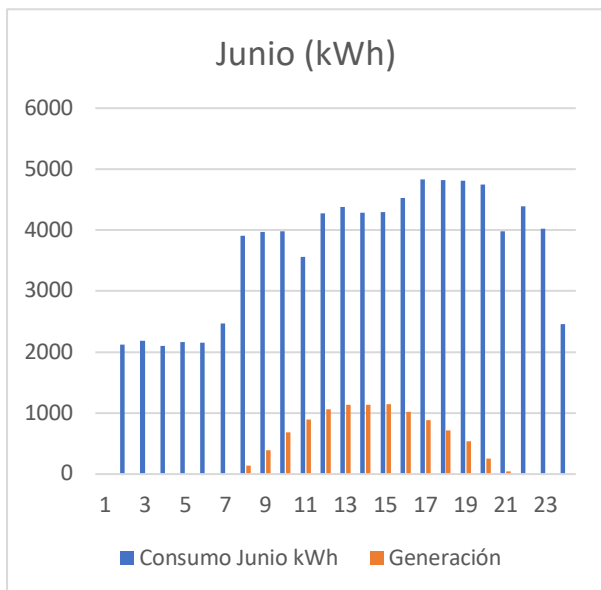
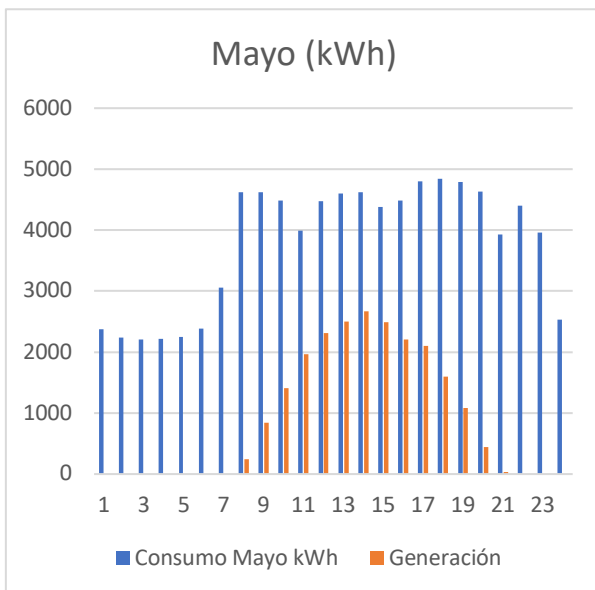
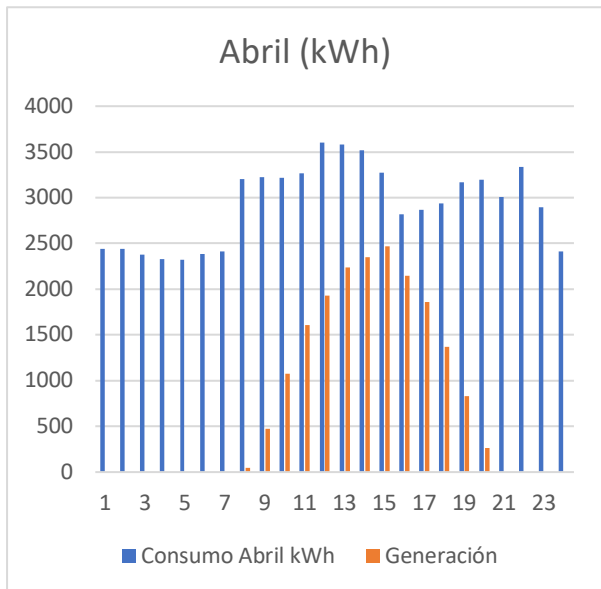
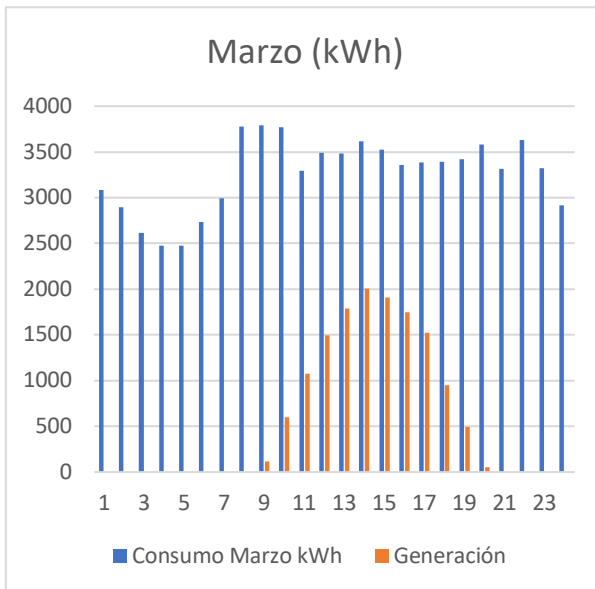
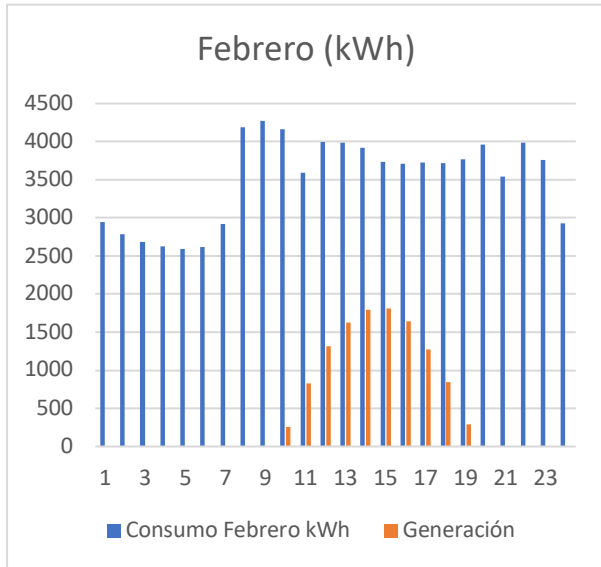
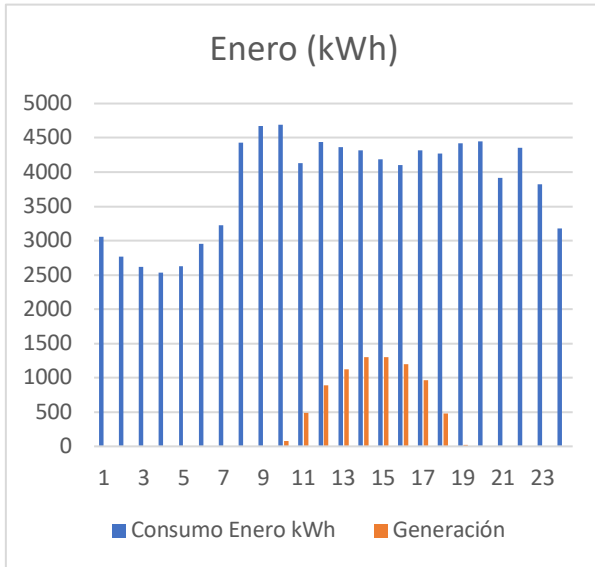


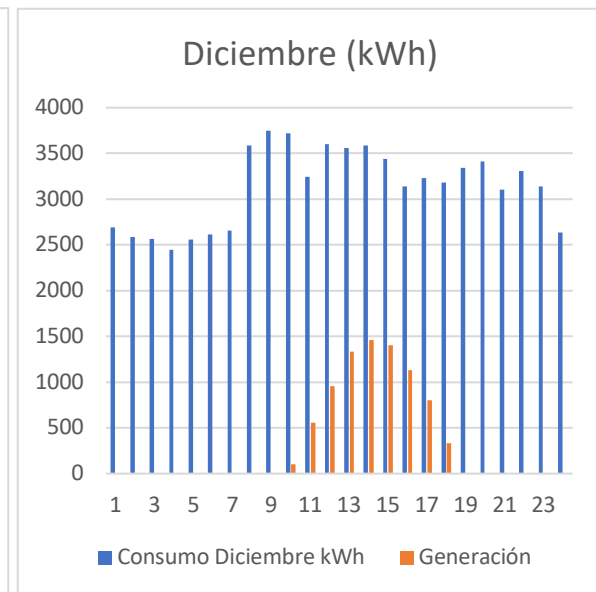
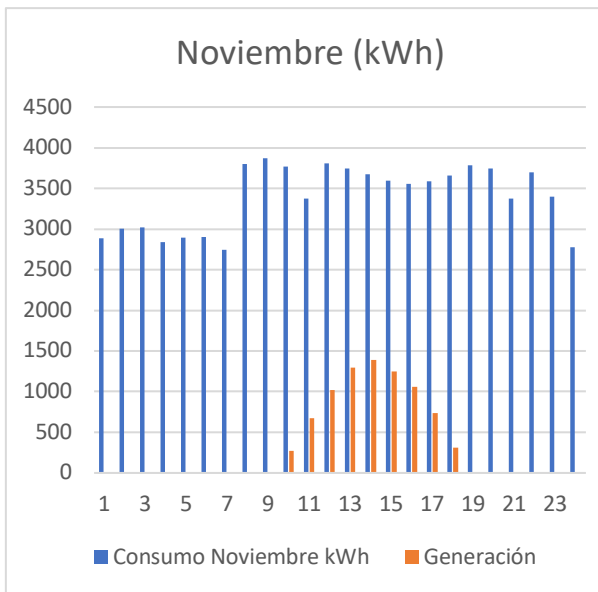
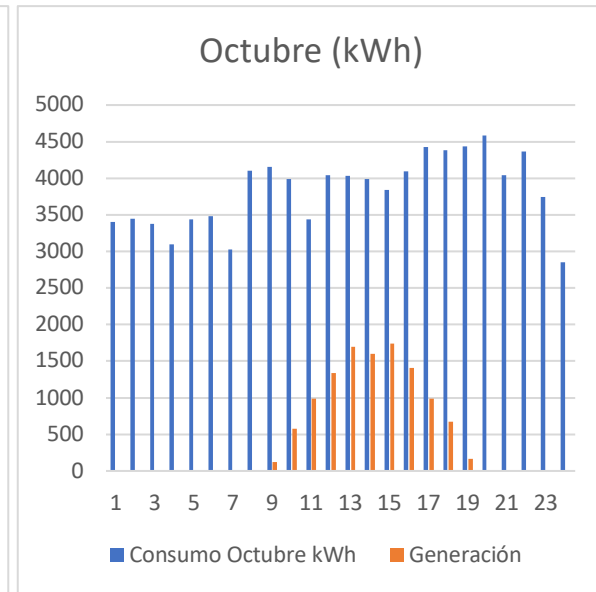
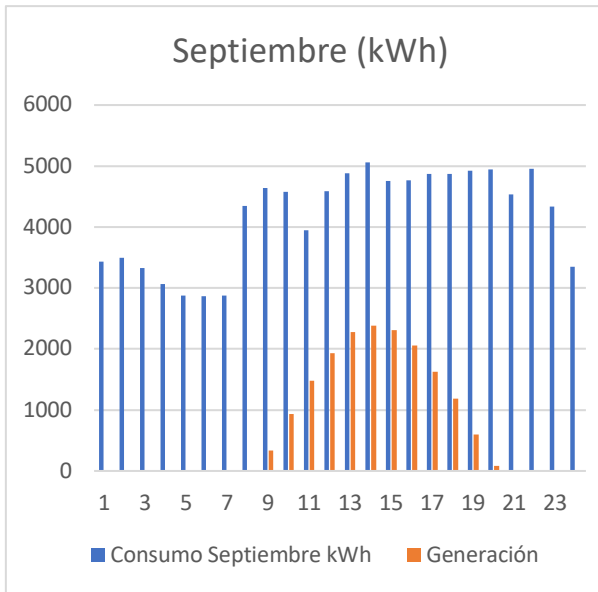
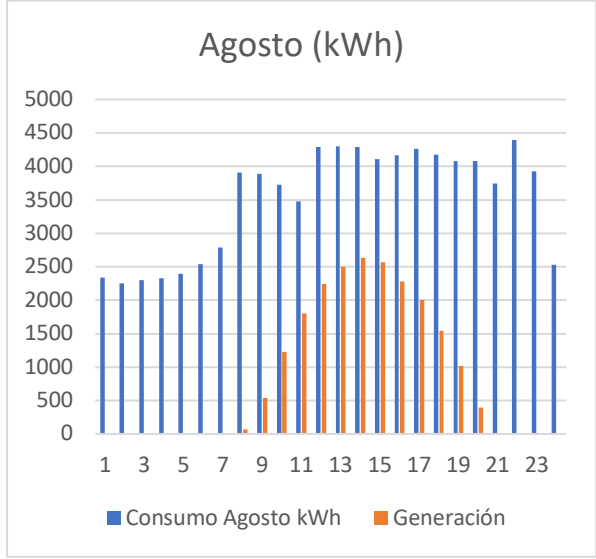
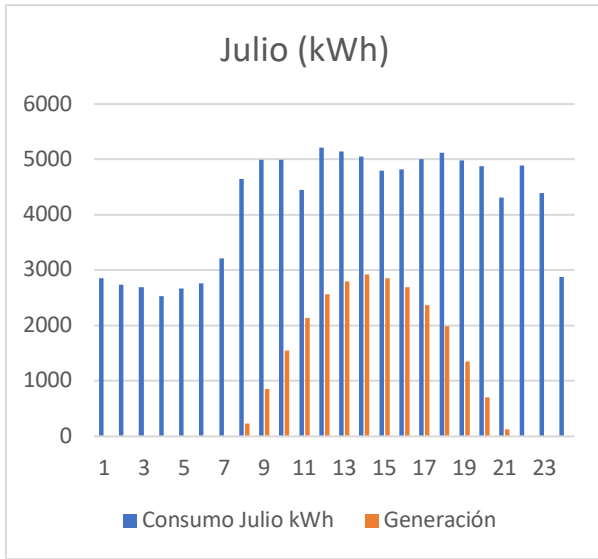
Ilustración 27: Generación de la Instalación Anual. Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia una curva de generación que toma sus valores máximos en los meses de verano dada la irradiación solar en esta época del año. Una manera de hacer que la generación no diste tanto entre los meses de invierno y de verano es incrementar el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos durante los meses de invierno, pero debido a las sombras que se ocasionarían se decidió la instalación coplanar a 5°.

En los siguientes gráficos, se aprecia de forma sencilla el impacto de la instalación fotovoltaica en lo referente al ahorro de consumo energético procedente de la red eléctrica anual.

Los siguientes diagramas muestran el autoconsumo generado por franjas horarias en cada mes:





En los diagramas de consumo por franjas horarias anteriores se comprueba lo que se comentó en el apartado de dimensionamiento computacional, la generación no será la suficiente como para tener excedentes, todo lo que se produce se consume.

A continuación se representa un diagrama más generalista del patrón de consumo de la instalación:

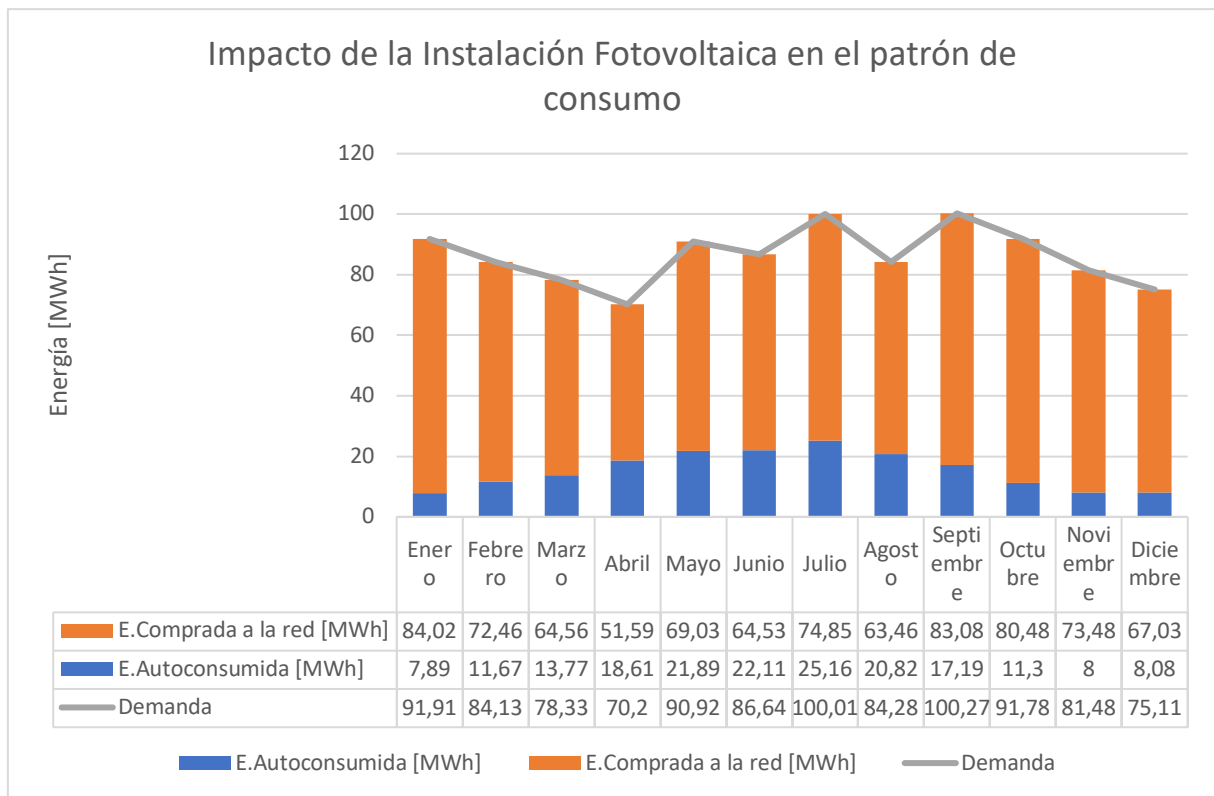


Ilustración 28: Impacto de la Instalación Fotovoltaica en el patrón de consumo. Fuente: Elaboración propia

Mes	%E. Autoconsumida
Enero	9,4
Febrero	16,1
Marzo	21,3
Abril	36,1
Mayo	31,7
Junio	34,3
Julio	33,6
Agosto	32,8

Septiembre	20,7
Octubre	14,0
Noviembre	10,9
Diciembre	12,1

Tabla 21: Porcentaje de Energía Autoconsumida del consumo global. Fuente: Elaboración propia

En lo referente al impacto de la instalación sobre el usuario beneficiario:

El ratio consumo global, del cual producida mediante autoconsumo, ronda al 10% en los meses más desfavorables y al 35% en los favorables. Conforme a los meses de verano se acercan, es notable que el sistema fotovoltaico tiene mayor capacidad de cubrir la demanda dados los altos niveles de irradiación solar y la inclinación adoptada por los paneles. Dadas las magnitudes de los consumos de la empresa, el ahorro mediante autoconsumo de entre 10-35% de la demanda, representa un recorte en la factura eléctrica de mucho interés.

En lo referente al impacto de la instalación sobre el medioambiente:

Además del beneficio a nivel corporativo que tendría la implantación de una instalación fotovoltaica de autoconsumo, se trata de una energía renovable obtenida de forma limpia. Es interesante y conveniente destacar el beneficio de este tipo de generación eléctrica sobre el planeta mostrando una serie de datos sobre la instalación que se ha propuesto.

La instalación de plantas fotovoltaicas de autoconsumo reduce la generación eléctrica de instalaciones de alto consumo de CO₂. Para este estudio se pondrá el punto de mira en aquellas tecnologías de mayor flexibilidad que permiten entrar en el pool diario en punta, en concreto el ciclo combinado, una de las tecnologías de este tipo más contaminante.

A continuación, se presenta un gráfico aportado por el OMIE de la energía mensual consumida en España por tecnologías:

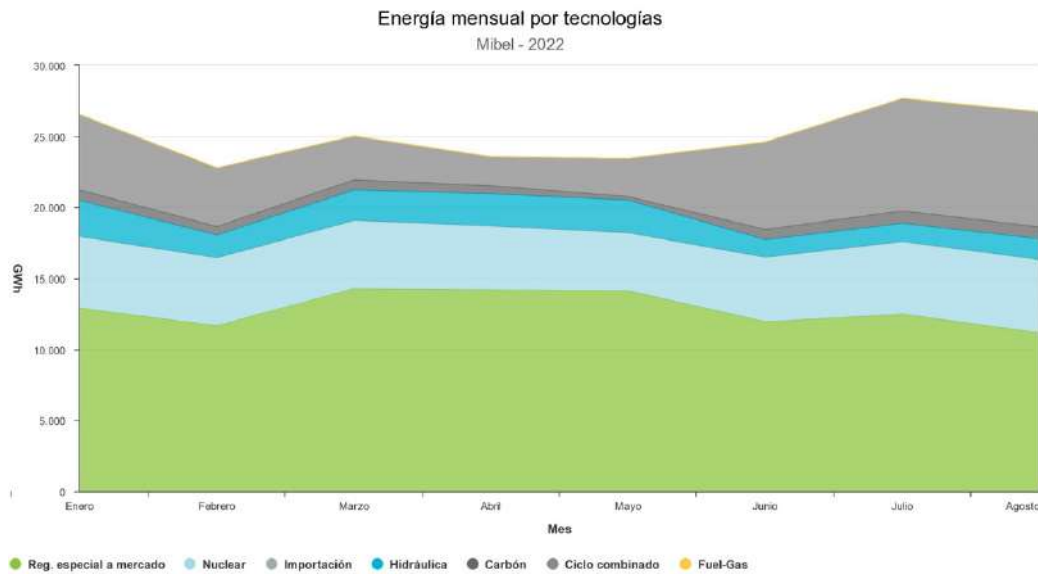


Ilustración 29: Gráfico de Consumo Mensual español por Tecnologías en 2022. Fuente: OMIE

A continuación, se presenta un gráfico de toneladas de emisión de CO₂ a la atmosfera por MWh generado por tecnologías:

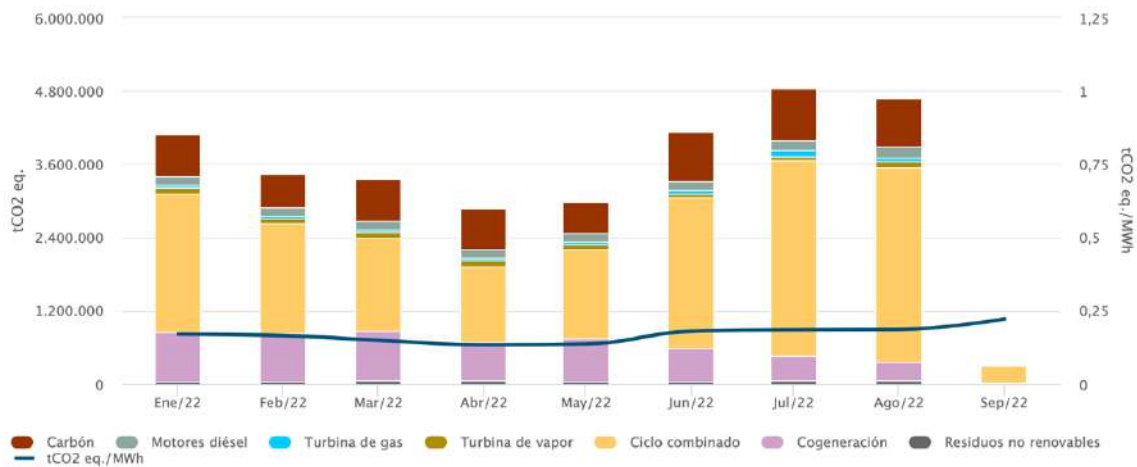


Ilustración 30: Emisiones de CO₂ por tecnologías. Fuente: Red Eléctrica.

Como se comentó anteriormente, las centrales de ciclo combinado son las causantes de la mayor parte de las emisiones de CO₂. Según la gráfica presentada la emisión media actual de CO₂ es de 0,22 tCO₂/MWh producido. De forma que, si se combina los datos aportados por el OMIE en los que se producen una media anual de 6,2GWh mediante ciclo combinado, resulta en 1364 tCO₂/mes o lo que es lo mismo, 16368 toneladas de CO₂ anuales.

Volviendo a la instalación propuesta:

Mes	E.Autoconsumida [MWh]
Enero	7,89
Febrero	11,67
Marzo	13,77
Abril	18,61
Mayo	21,89
Junio	22,11
Julio	25,16
Agosto	20,82
Septiembre	17,19
Octubre	11,3
Noviembre	8
Diciembre	8,08
Promedio	15,541

Tabla 22: Energía Autoconsumida. Elaboración Propia

La instalación en cuestión, estará evitando una producción media de 15,541MWh mensuales mediante ciclo combinado, lo que se traduce en 3,42 toneladas de CO2 mensuales.

El ahorro en el primer año es de 41 toneladas de CO2, y en la vida útil de la instalación sería de 1025 toneladas de CO2.

Dado que un árbol consume entre 167kg de CO2 al año [16], el equivalente es plantar 246 árboles el primer año y 6150 durante su vida útil.

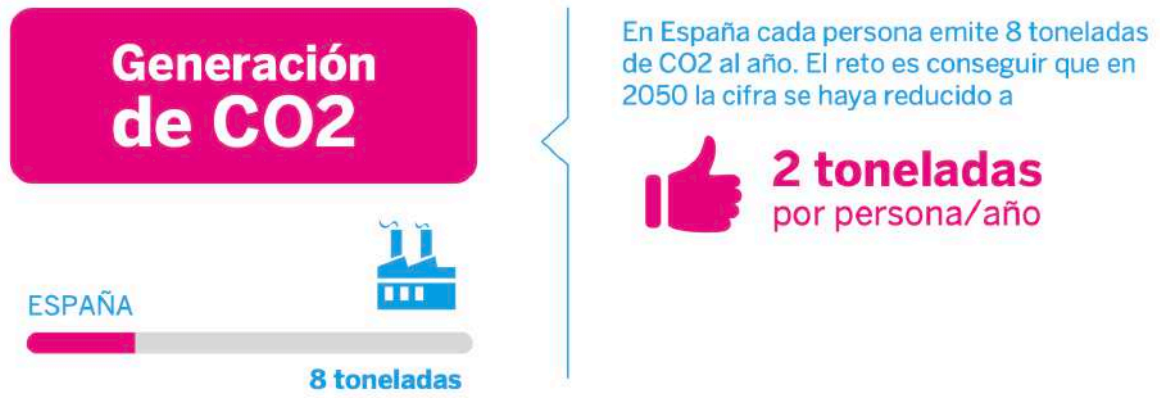


Ilustración 31: Carbonización en España. Fuente: Fundación aquae

9. SUBVENCIONES

Dados los múltiples beneficios económicos, medioambientales, y para el sistema eléctrico español que conlleva la implantación de energía fotovoltaica, existen numerosas ayudas por parte del Estado y de las comunidades autónomas. Estas vienen dadas en forma de reducción de impuestos ya sea del IBI, IRPF o subvenciones de un porcentaje de los gastos que acarrea la instalación.

Estas subvenciones fueron potenciadas por la pandemia del COVID-19, la cual enfrento a la población a una crisis económica, social y sanitaria. La respuesta al desafío por parte de la Unión Europea, es el ambicioso “Fondo de Recuperación y Resiliencia”, con el fin de contribuir a la reconstrucción y ensalzamiento del tejido económico, empresarial y social de la época posterior a la pandemia. Para España esto supone un grandísimo volumen de capital para inversiones que den lugar a la modernización de la economía española. Y, como no podía ser de otro modo, el plan de recuperación citado apuesta fuertemente por la descarbonización mediante el uso de fuentes renovables. [17]

Mediante el Decreto 145/2021, se aprobaron las bases regulatorias de las subvenciones para la ejecución de programas ligados al autoconsumo y al almacenamiento con fuentes de energía renovable, así como la construcción de sistemas de generación renovable en el sector residencial y empresarial en Extremadura. Este, toma las bases reguladoras del Real Decreto 477/2021 de subvención de instalaciones de autoconsumo y almacenamiento renovable en las ciudades de Ceuta y Melilla.

En adelante, se detallan las actuaciones subvencionables por la Junta de Industria de Extremadura:

- Programa de incentivos 1: Instalaciones de autoconsumo con fuentes de energía renovable en el sector servicios con o sin almacenamiento.
- Programa de incentivos 2: Instalaciones de autoconsumo con fuentes de energía renovable en otros sectores productivos de la economía con o sin almacenamiento.

- Programa de incentivos 3: Instalaciones de autoconsumo con fuentes de energía renovable ya existentes en el sector servicios o en otros sectores productivos.
- Programa de incentivos 4: Instalaciones de autoconsumo con fuentes de energía renovable en el sector residencial, administraciones públicas y el tercer sector, con o sin almacenamiento.
- Programa de incentivos 5: Incorporación de sistemas de almacenamiento de energía en instalaciones de autoconsumo provenientes de fuentes renovables ya existentes en el sector residencial, administraciones públicas y el tercer sector.
- Programa de incentivos 2: Instalaciones de energías renovables térmicas en el sector residencial. [18]

Según el Decreto 145/2021 los potenciales beneficiarios de las subvenciones repartidas por este programa podrían ser :

- Personas jurídicas y agrupaciones de empresas o de personas físicas, que realicen una actividad económica que les ofrezcan bienes y servicios al mercado.
- Comunidades de energías renovables y comunidades ciudadanas de energía, siempre que aporten bienes y servicios al mercado.
- Ayuntamientos, diputaciones provinciales y entidades equivalentes en carácter de organismo público vinculados a la administración local o autónoma. [17]

La Junta de Industria de Extremadura ofrece una herramienta en formato de hoja de cálculo que permite conocer al solicitante si tiene o no tiene acceso a una subvención, y si el resultado es positivo, el porcentaje de costes de inversión subvencionado. Esta herramienta discrimina el sector de industria, así como el volumen anual generado, cuenta de explotación, balance, potencia instalada...

DATOS DE ENTRADA		Observaciones
Tipo de instalación para la que solicita la ayuda	Fotovoltaica sin almacenamiento	Elegir opción
Tipo de solicitante	Empresa explotadora/rendataria/concesionaria	Empresa
¿Realiza actividad económica?	SI	Elegir opción
¿Actúa el solicitante en representación de agrupaciones de personas físicas o jurídicas propietarias de instalaciones del sector servicios u otros sectores productivos?	SI	No aplicable
Grupo de CNAE (2009)	G	CNAE CORRECTO
PROGRAMA DE INCENTIVOS AL QUE ACOGERSE:		I
NO RELLENAR: Datos correspondiente a otro programa de incentivos		No aplicable
PROGRAMA DE INCENTIVOS 1-2-3		Observaciones
Localidad	Castrejada	Si aplica punto anterior por Período
Efectivos de la empresa (nº de personas)	120	Tipo de empresa
Volumen de negocio (€)		Mediana
Balanza general (€)		Caso 1 (€60/%)
¿se retira cubierta de amianto?		#DIV/0!
Costes eliminación de amianto (€, sin IVA)		Caso 2 (€60/%)
¿se incluye marquesina?		#DIV/0!
Costes de la marquesina (€, sin IVA)		Caso 3 (€60/%)
Potencia instalación de GENERACIÓN (kWp)		#DIV/0!
Coste de la instalación de GENERACIÓN (€, sin IVA)		Caso 4 (€60/%)
CÁLCULO DE LA CUANTÍA DE LA SUBVENCIÓN (Este cálculo es meramente informativo, no suponiendo compromiso por parte de la Administración)		
Cuantía Subvención en GENERACIÓN		#DIV/0!
SUBVENCIÓN A CONCEDER		#DIV/0!
Porcentaje de subvención (%)		#DIV/0!

Ilustración 32: Herramienta para conocer la subvención referente a una fotovoltaica. Fuente: Junta de Industria de Extremadura.

Para conocer la resolución de la subvención que da la Junta de Extremadura al usuario, se deberán conocer datos confidenciales de la empresa tales como el balance y la cuenta de pérdidas y ganancias entre otros. A pesar de ello, dado lo comentado anteriormente, la empresa cumple con todos los requisitos para obtener la subvención.

Cabe destacar que las subvenciones mencionadas son de vital importancia en términos de viabilidad y rentabilidad y deberán ser contempladas por la empresa que desea llevar el proyecto a cabo. Sin embargo en el estudio económico no se tendrán en cuenta debido a la variabilidad de las condiciones de las mismas a lo largo del tiempo.

10. PRESUPUESTO

En este apartado se presenta el presupuesto que se ofrece a la empresa por la instalación de una planta fotovoltaica de 127kWp con todos los componentes ligados a la misma:

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario	Total
MATERIALES				
288	Uds	Módulo RSM156- 445M	145 €	41.760,00 €
1	Uds	Inversor Huawei 100KTL	6036	6.036,00 €
288	Uds	Estructura coplanar Alusin Solar	38,5	11.088,00 €
80	m	Cable Unifilar Negro PV-ZZF	4,19 €	335,20 €
80	m	Cable Unifilar Rojo PV-ZZF	4,19 €	335,20 €
576	Uds	Conectores MC4	1,50 €	864,00 €
200	m	Cable Tierra Cobre Desnudo 35mm2	0,53 €	106,00 €
120	Uds	Pica puesta a tierra	8,20 €	984,00 €
120	m	Cable CA RZ1-K5G	15,90 €	1.908,00 €
60	m	Tubo PVC	3,20 €	192,00 €
2	Uds	Equipos de Protección Individual (EPI's)	65 €	130,00 €
TOTAL MATERIALES			63.738,40 €	
GASTOS GENERALES				
22	Días	Trasporte (Operarios)	15 €	330 €
5	Oper	Salario Mano de Obra	90 €	9.900 €
4	Trailer	Trasporte (Material)	240,00 €	960,00 €
	Oper	Manutención y Hospedaje	30 €	3.300 €
		Ingeniería Tramitación y Dirección de obra	10.000 €	
-	-	Logística y Seguro	2.036 €	
-	-	Montaje monitorización y puesta en marcha	12.058 €	
TOTAL GASTOS GENERALERS			38.584 €	
BENEFICIO INDUSTRIAL				
Beneficio Industrial 16%			20.464,48 €	
Presupuesto Total SIN IVA			122.786,88 €	
Presupuesto Total CON IVA			144.090,40 €	

Tabla 23: Desglose de presupuesto. Fuente: Elaboración propia.

En el anterior desglose se diferencian los gastos de los materiales necesarios, y los gastos de la propia instalación. Además se incluyen los costes que vienen dados por la empresa instaladora de forma que no se tiene únicamente en cuenta la inversión del consumidor si no también las ganancias de la empresa instaladora. Se estima que dada la potencia instalada y los precios del mercado actual, el margen de beneficio de la empresa instaladora será de en torno al 16% del total sin incluir el IVA.

11. ESTUDIO ECONÓMICO

En el siguiente apartado se realizará un estudio económico que determinarán factores tan importantes para la ejecución del proyecto como son la viabilidad y la rentabilidad. Este apartado junto a las especificaciones técnicas de la instalación serán los que marcarán la decisión de si acometer o no, la inversión que supone la planta fotovoltaica.

Para dicho estudio se deberán tener en cuenta parámetros variables que a lo largo del tiempo supondrán un impacto en el balance económico.

1. **Energía autoconsumida por periodo:** Se obtendrá haciendo una simulación avanzada en PVsyst con la que se podrá reflejar el autoconsumo mensual por horas y con lo cual por periodos. Para obtenerlo la energía autoconsumida por periodos se deberán meter los datos de consumo de la industria el año pasado en el programa computacional y se determinará que el autoconsumo en los siguientes años será del mismo orden de magnitud teniendo en cuenta la degradación de los módulos fotovoltaicos.

Se debe recordar que, en el balance, únicamente supondrá un impacto económico el autoconsumo dado que los excedentes son prácticamente nulos.

La generación horaria mensual es la siguiente:

Més	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	752.8481	969.5188	992.1832	1224.4958	1679.261	1522.054	1445.15	1068.603	780.8678	2402.394	0	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	843.594	694.904	3338.374	3741.698	1912.523	1844.329	1675.800	1427.272	927.66	869.698	0	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1031.465	850.260	1408.456	1611.640	1826.744	2278.18	1948.355	1778.908	1621.931	1087.6544	836.059	538.52	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	396.1912	633.724	1160.03	1637.839	1964.698	2605.959	2492.809	1946.785	2191.964	1973.948	1523.7568	937.627	1238.324	0	0	0
Mayo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2056.614	923.038	1516.21	2007.133	3353.595	2675.589	2724.058	1886.61	2249.069	2136.184	1684.3236	1187.517	956.508	336.973	0	0
Prim15 Junio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201.256	396.28	776.351	915.203	1086.927	1159.318	1161.609	1078.047	1176.874	704.894	734.2168	545.534	297.388	465.977	0	0
Seg15 Junio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2067.963	867.514	1577.589	2172.622	2612.740	2852.345	2852.410	2631.633	2462.11	2418.621	2028.83	1375.391	806.956	1215.928	0	0
Julio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	691.22	619.23	1243.815	1835.188	2283.355	2549.812	2681.209	2614.912	2315.072	2040.38	1567.691	1028.274	768.06	74.214	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	25.189	967.586	1013.025	1655.847	2097.023	2403.956	2426.185	2349.91	2178.588	1724.607	1325.163	789.28	855.974	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1151.938	764.201	1254.266	1565.09	1872.258	1855.138	1776.343	1516.342	1151.015	685.3261	1069.8011	0	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1210.069	935.4	1153.95	1383.27	1465.412	1570.448	1221.208	851.423	1076.541	0	0	0	0	0	0	0
Noviembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1048.498	969.471	1020.128	1395.65	1671.94	1483.235	1241.345	907.205	948.174	0	0	0	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1048.498	969.471	1020.128	1395.65	1671.94	1483.235	1241.345	907.205	948.174	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 24: Autoconsumo horario mensual. Fuente: Elaboración propia.

En la anterior tabla se ha seguido el mismo patrón de colores que indica los periodos de facturación. De tal forma que el autoconsumo anual por periodos de facturación es:

Periodo de Facturación	Autoconsumo total
P1	47967,025
P2	34361,5809
P3	21204,3054
P4	31386,459
P5	53923,9924
P6	25225,5872

Tabla 25: Autoconsumo anual por periodos de facturación. Fuente: Elaboración propia.

2. **Degradación de los módulos fotovoltaicos y vida útil:** Como se ha mencionado anteriormente es importante determinar un porcentaje de degradación de los módulos (debido a la exposición a condiciones climatológicas adversas) para conocer el detrimento de generación a lo largo de los años, así como, la vida útil de los mismos para marcar un periodo máximo de amortización. En este caso el proveedor nos indica que los módulos seleccionados tienen una degradación anual del 0,5% y una vida útil de 25 años.
3. **Precios por periodo establecidos en la factura eléctrica:** Dado el tipo de tarifa eléctrica contratada por Galvexsa (6.1.TD), se analizarán los distintos costes incluidos en la factura para poder obtener el coste total del kWh por cada periodo.

En la tarifa eléctrica contratada existen diversos costes que se deberán tratar individualmente:

- Coste de tarifa de acceso, peajes y cargo por potencia contrada en cada periodo:

Periodo	Tarifa de Acceso, Peajes y Cargos POTENCIA [€/kW]
P1	22,41711
P2	20,370815
P3	11,478137
P4	9,055455
P5	1,992116
P6	1,185268

Tabla 26: Coste de tarifa de acceso, peajes y cargo por potencia contrada en cada periodo. Fuente: Galvexsa.

No se tendrá en cuenta para el análisis económico dado que no existen visos de cambio en la potencia contratada.

- Coste de tarifa de acceso, peajes y cargo por consumo energético en cada periodo:

Periodo	Tarifa de Acceso, Peajes y Cargos ENERGÍA [€/kWh]
P1	0,031496
P2	0,024715
P3	0,013777
P4	0,008254
P5	0,002127
P6	0,001446

Tabla 27: Coste de tarifa de acceso, peajes y cargo por consumo energético en cada periodo. Fuente: Galvessa.

- Coste por cantidad de energía consumida:

Periodo	Precio Energía [€/kWh]
P1	0,108253
P2	0,102589
P3	0,094202
P4	0,091826
P5	0,08247
P6	0,077805

Tabla 28: Coste por cantidad de energía consumida. Fuente: Galvessa.

Los costes que se tendrán en cuenta en el balance y se verán afectados por la inflación anual son aquellos del término de energía consumida. De forma que:

Periodo	Precio Energía [€/kWh]	Tarifa de Acceso, Peajes y Cargos ENERGÍA [€/kWh]	TOTAL
P1	0,108253	0,031496	0,139749
P2	0,102589	0,024715	0,127304
P3	0,094202	0,013777	0,107979
P4	0,091826	0,008254	0,10008
P5	0,08247	0,002127	0,084597
P6	0,077805	0,001446	0,079251

Tabla 29: Coste total de energía consumida por periodo. Fuente: Elaboración propia.

4. **IPC (Índice de Precios al Consumidor):** Los precios establecidos por la factura eléctrica en el futuro son inciertos. Sin embargo, estudiando el IPC se podrá prever de forma aproximada el crecimiento o detrimento de los mismos en el futuro, reflejándolo en el balance económico.

En los últimos tiempos debido a los acontecimientos que se han dado en el planeta tales como la pandemia del COVID-19 y más recientemente, la guerra entre Rusia y Ucrania, se están alcanzando máximos históricos en el IPC. El IPC anual actual a mes de Julio, ya ha alcanzado el 10,8%. A pesar de esto se quiere pensar que estos valores no se pueden tomar como precedente para estimar la inflación los próximos años. De forma que se calculará la media del IPC de los últimos 10 años y será el que se aplique en nuestra instalación.

El IPC anual en los últimos 10 años es:

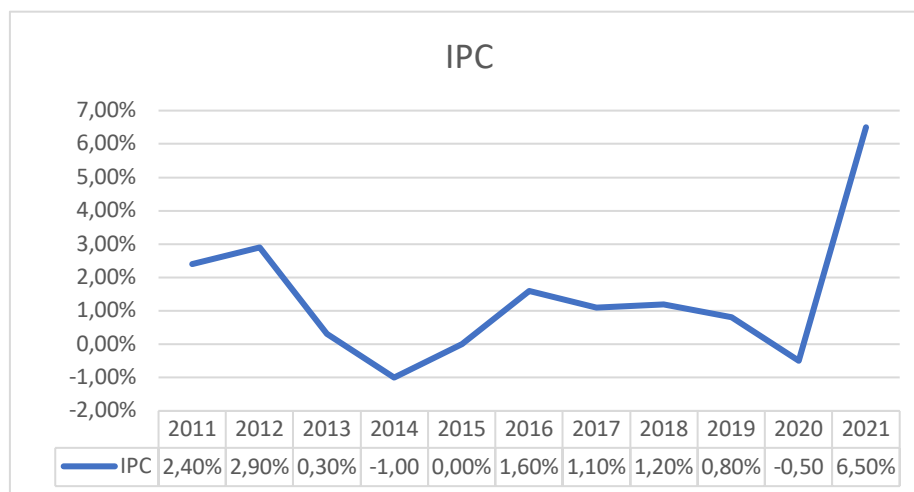


Ilustración 33: IPC últimos 10 años. Fuente: Elaboración propia

La media del IPC en los últimos 10 años es 1,4%. Dado el crecimiento del IPC se decide ser más pesimista asumiendo un 2% de inflación anual.

A continuación se refleja el balance económico obtenido a partir de los parámetros que se han desarrollado en el apartado hasta ahora:

Detalles técnicos			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Vida útil	Años	25													
Inflación anual	%	2,0%													
Degradación de FV	%	0,50%													
Entradas															
Periodo 1	kWh	45760,3448	0,00	45760,3448	45531,5431	45303,8854	45077,3659	44851,9791	44627,7192	44404,5806	44182,5577	43961,6449	43741,8367	43523,1275	43305,5119
Precio	€/kWh	0,139749	0,00	0,139749	0,14254398	0,14539486	0,14830276	0,15126881	0,15429419	0,15738007	0,16052767	0,16373823	0,16701299	0,17035325	0,17376032
Ahorro P1	Euro			6394,96243	6490,24737	6586,95205	6685,09764	6784,70559	6885,79771	6988,39609	7092,52319	7198,20179	7305,45499	7414,30627	7524,77944
Periodo 2	kWh	27513,4219	0,00	27513,4219	27375,8548	27238,9755	27102,7806	26967,2667	26832,4304	26698,2683	26564,7769	26431,953	26299,7933	26168,2943	26037,4528
Precio	€/kWh	0,127304	0,00	0,127304	0,12985008	0,13244708	0,13509602	0,13779794	0,1405539	0,14336498	0,14623228	0,14915693	0,15214006	0,15518287	0,15828652
Ahorro P2	Euro			3502,56866	3554,75693	3607,72281	3661,47788	3716,0339	3771,40281	3827,59671	3884,6279	3942,50886	4001,25224	4060,8709	4121,37787
Periodo 3	kWh	18176,5215	0,00	18176,5215	18085,6389	17995,2107	17905,2346	17815,7085	17726,6299	17637,9968	17549,8068	17462,0578	17374,7475	17287,8737	17201,4344
Precio	€/kWh	0,107979	0,00	0,107979	0,11013858	0,11234135	0,11458818	0,11687994	0,11921754	0,12160189	0,12403393	0,12651461	0,1290449	0,1316258	0,13425831
Ahorro P3	Euro			1962,68262	1991,92659	2021,60629	2051,72823	2082,29898	2113,32523	2144,81378	2176,7715	2209,2054	2242,12256	2275,53018	2309,43558
Periodo 4	kWh	24914,4556	0,00	24914,4556	24789,8833	24665,9339	24542,6042	24419,8912	24297,7918	24176,3028	24055,4213	23935,1442	23815,4685	23696,3911	23577,9092
Precio	€/kWh	0,10008	0,00	0,10008	0,1020816	0,10412323	0,1062057	0,10832981	0,11049641	0,11270633	0,11496046	0,11725967	0,11960486	0,12199696	0,1244369
Ahorro P4	Euro			2493,43872	2530,59095	2568,29676	2606,56438	2645,40219	2684,81868	2724,82248	2765,42234	2806,62713	2848,44587	2890,88772	2933,96194
Periodo 5	kWh	48250,2827	0,00	48250,2827	48009,0313	47768,9861	47530,1412	47292,4905	47056,028	46820,7479	46586,6442	46353,7109	46121,9424	45891,3327	45661,876
Precio	€/kWh	0,084597	0,00	0,084597	0,08628894	0,08801472	0,08977501	0,09157051	0,09340192	0,09526996	0,09717536	0,09911887	0,10110125	0,10312327	0,10518574
Ahorro P5	Euro			4081,82917	4142,64842	4204,37388	4267,01905	4330,59764	4395,12354	4460,61088	4527,07398	4594,52739	4662,98584	4732,46433	4802,97805
Periodo 6	kWh	17908,6817	0,00	17908,6817	17819,1383	17730,0426	17641,3924	17553,1854	17465,4195	17378,0924	17291,2019	17204,7459	17118,7222	17033,1286	16947,9629
Precio	€/kWh	0,079251	0,00	0,079251	0,08083602	0,08245274	0,0841018	0,08578383	0,08749951	0,0892495	0,09103449	0,09285518	0,09471228	0,09660653	0,09853866
Ahorro P6	Euro			1419,28093	1440,42822	1461,8906	1483,67277	1505,77949	1528,21561	1550,98602	1574,09571	1597,54974	1621,35323	1645,51139	1670,02951
Resultado	Euro		0	19854,7625	20150,5985	20450,8424	20755,5599	21064,8178	21378,6836	21697,226	22020,5146	22348,6203	22681,6147	23019,5708	23362,5624
Gastos de mantenimiento	Euro		0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Inversión Total (CAPEX)	Euro	144.090,40 €													
Flujo de Caja (FC)	Euro		-144090,4	17854,7625	18150,5985	18450,8424	18755,5599	19064,8178	19378,6836	19697,226	20020,5146	20348,6203	20681,6147	21019,5708	21362,5624
Flujo de caja acumulado	Euro		-144090,4	-126235,64	-108085,04	-89634,2	-70878,64	-51813,823	-32435,139	-12737,913	7282,60162	27631,2219	48312,8367	69332,4075	90694,9699

Detalles técnicos			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Vida útil	Años	25	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
Inflación anual	%	2,0%													
Degradación de FV	%	0,50%													
Entradas															
Periodo 1	kWh	45760,3448	43088,9843	42873,5394	42659,1717	42445,8758	42233,6465	42022,4782	41812,3658	41603,304	41395,2875	41188,311	40982,3695	40777,4576	40573,5704
Precio	€/kWh	0,139749	0,17723552	0,18078023	0,18439584	0,18808375	0,19184543	0,19568234	0,19959598	0,2035879	0,20765966	0,21181286	0,21604911	0,2203701	0,2247775
Ahorro P1	Euro		7636,89865	7750,68844	7866,1737	7983,37969	8102,33204	8223,05679	8345,58034	8469,92949	8596,13143	8724,21379	8854,20458	8986,13223	9120,0256
Periodo 2	kWh	27513,4219	25907,2656	25777,7292	25648,8406	25520,5964	25392,9934	25266,0284	25139,6983	25013,9998	24888,9298	24764,4851	24640,6627	24517,4594	24394,8721
Precio	€/kWh	0,127304	0,16145225	0,1646813	0,16797492	0,17133442	0,17476111	0,17825633	0,18182146	0,18545789	0,18916705	0,19295039	0,1968094	0,20074558	0,2047605
Ahorro P2	Euro		4182,7864	4245,10992	4308,36206	4372,55665	4437,70775	4503,82959	4570,93665	4639,04361	4708,16536	4778,31702	4849,51395	4921,77171	4995,1061
Periodo 3	kWh	18176,5215	17115,4272	17029,8501	16944,7008	16859,9773	16775,6774	16691,799	16608,34	16525,2983	16442,6718	16360,4585	16278,6562	16197,2629	16116,2766
Precio	€/kWh	0,107979	0,13694348	0,13968235	0,142476	0,14532552	0,14823203	0,15119667	0,1542206	0,15730501	0,16045111	0,16366014	0,16693334	0,17027201	0,17367745
Ahorro P3	Euro		2343,84617	2378,76948	2414,21315	2450,18492	2486,69268	2523,7444	2561,34819	2599,51228	2638,24501	2677,55486	2717,45043	2757,94044	2799,03375
Periodo 4	kWh	24914,4556	23460,0196	23342,7195	23226,0059	23109,8759	22994,3265	22879,3549	22764,9581	22651,1333	22537,8776	22425,1883	22313,0623	22201,497	22090,4895
Precio	€/kWh	0,10008	0,12692564	0,12946415	0,13205343	0,1346945	0,13738839	0,14013616	0,14293888	0,14579766	0,14871362	0,15168789	0,15472165	0,15781608	0,1609724
Ahorro P4	Euro		2977,67798	3022,04538	3067,07385	3112,77325	3159,15358	3206,22496	3253,99772	3302,48228	3351,68927	3401,62944	3452,31372	3503,75319	3555,95911
Periodo 5	kWh	48250,2827	45433,5666	45206,3988	44980,3668	44755,465	44531,6876	44309,0292	44087,4841	43867,0466	43647,7114	43429,4728	43212,3255	42996,2639	42781,2825
Precio	€/kWh	0,084597	0,10728945	0,10943524	0,11162394	0,11385642	0,11613355	0,11845622	0,12082535	0,12324185	0,12570669	0,12822083	0,13078524	0,13340095	0,13606897
Ahorro P5	Euro		4874,54243	4947,17311	5020,88599	5095,69719	5171,62308	5248,68026	5326,8856	5406,25619	5486,80941	5568,56287	5651,53445	5735,74232	5821,20488
Periodo 6	kWh	17908,6817	16863,2231	16778,907	16695,0125	16611,5374	16528,4797	16445,8373	16363,6081	16281,7901	16200,3812	16119,3792	16038,7824	15958,5884	15878,7955
Precio	€/kWh	0,079251	0,10050943	0,10251962	0,10457001	0,10666141	0,10879464	0,11097053	0,11318994	0,11545374	0,11776282	0,12011807	0,12252043	0,12497084	0,12747026
Ahorro P6	Euro		1694,91295	1720,16716	1745,79765	1771,81003	1798,21	1825,00333	1852,19588	1879,7936	1907,80252	1936,22878	1965,07859	1994,35826	2024,0742
Resultado	Euro		23710,6646	24063,9535	24422,5064	24786,4017	25155,7191	25530,5393	25910,9444	26297,0174	26688,843	27086,5068	27490,0957	27899,6981	28315,4036
Gastos de mantenimiento	Euro		2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Inversión Total (CAPEX)	Euro	144.090,40 €													
Flujo de Caja (FC)	Euro		21710,6646	22063,9535	22422,5064	22786,4017	23155,7191	23530,5393	23910,9444	24297,0174	24688,843	25086,5068	25490,0957	25899,6981	26315,4036
Flujo de caja acumulado	Euro		112405,634	134469,588	156892,094	179678,496	202834,215	226364,755	250275,699	274572,716	299261,559	324348,066	349838,162	375737,86	402053,264

Ilustración 34: Balance Económico. Fuente: Elaboración propia.

El primer término económico que se debe evaluar es el flujo de caja, mientras que el primer año adquiere valores negativos debido a la inversión inicial, el resto de años siguientes, tomara valores positivos correspondientes al ahorro que le supone al consumidor el autoconsumo anual. Es interesante comprobar que conforme avanza el tiempo, el flujo de caja es superior. Esto es debido a que, a pesar de que la generación cada año es menor (degradación de los módulos), la inflación anual ejerce mayor influencia de forma que a mayor es el coste de la electricidad, mayores son los ahorros generados por la planta de autoconsumo.

El VAN (Valor Neto Actual), es un criterio de inversión que evalúa los cobros y pagos de un proyecto. Será determinante para conocer si es aconsejable acometer una inversión. El VAN trae los flujos de caja al momento presente descontándoles un tipo de interés.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t};$$

I_0 = Inversión realizada en el momento inicial ($t = 0$);

F_t = Flujos de dinero en cada periodo t ;

k = Tipo de descuento o de interés exigido a la inversión;

n = Número de periodos de tiempo;

Dado el bajo riesgo que suponen los proyectos de instalación de fuentes de energía renovables en España, se aplicará un tipo de descuento del 5%.

El signo del VAN es el que dicta si el proyecto es rentable o no, de forma que analizaremos a partir de cuando el proyecto empieza a ser rentable (sin olvidar que no se están teniendo en cuenta las subvenciones ofrecidas por el estado que reducirían mucho el periodo de amortización), y el VAN después de 25 años de vida útil de la instalación. De forma que, a partir del quinto año el proyecto comienza a ser rentable y al final de su vida útil, el VAN es de 151612 €.

El TIR (Tasa Interna de Retorno), será otro de los indicadores económicos que permitirá al consumidor determinar la rentabilidad del proyecto. El TIR, hace referencia a la tasa de

descuento necesaria para que el proyecto sea viable. De esta forma el TIR deberá ser superior a la marcada anteriormente para proyectos de generación renovable (5%).

La forma de hallar el TIR es igualar el VAN a 0 y despejar la Tasa de descuento:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = 0;$$

El TIR obtenido para el proyecto desarrollado es del 13%, ampliamente superior a la tasa de descuento de las fuentes renovables, lo que quiere decir que es muy aconsejable acometer la inversión.

Una vez que se sabe que el proyecto es rentable, será importante conocer el PayBack, el cual permitirá conocer al consumidor el tiempo en el que se va a recuperar la inversión inicial.

$$PB = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Resultado promedio del flujo de caja}};$$

El PayBack obtenido para este proyecto es 7,25 años sin tener en cuenta las subvenciones.

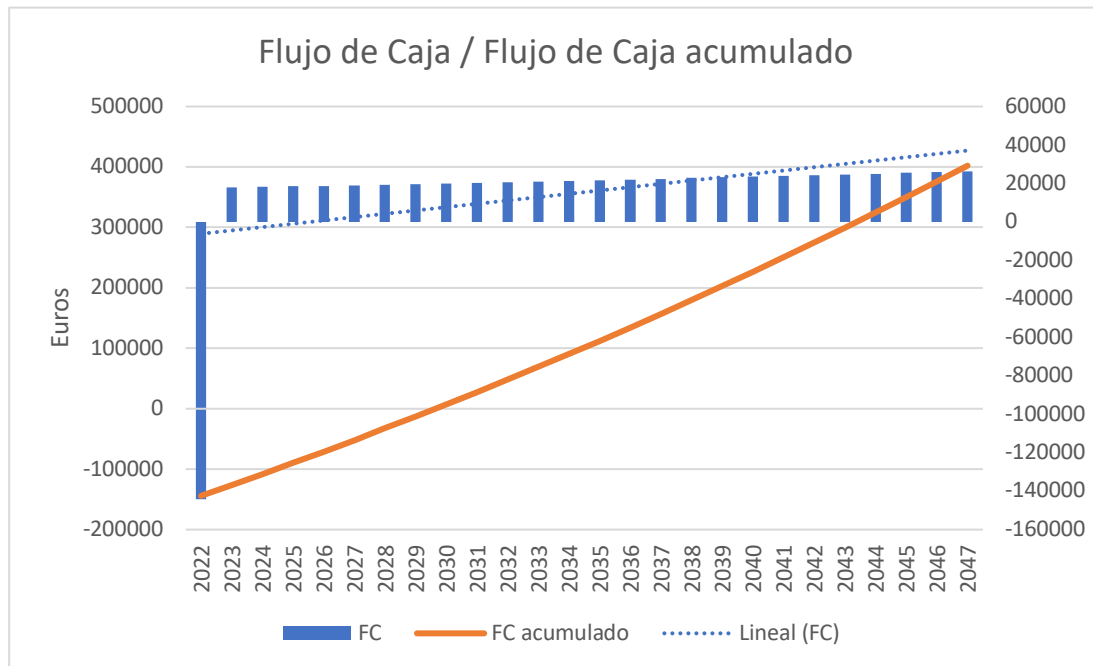


Ilustración 35: Flujo de Caja/Flujo de Caja acumulado. Fuente: Elaboración propia.

Aquí se aprecia que efectivamente la inversión se recupera en torno a 7 años. A partir del momento en el que se recupera la inversión, el crecimiento del flujo acumulado es muy grande. Se ha representado la línea de tendencia del Flujo de Caja, y a pesar de que la pendiente positiva de la misma es influenciada por el primer valor negativo, también lo es debido a la inflación anual.

A continuación, se muestra un resumen del análisis económico:

Tasa de descuento	VAN	TIR	PayBack
5%	151.612 €	13%	7,25

Ilustración 36: Resumen Análisis Económico. Fuente: Elaboración propia.

12. SOLUCIÓN DE AUTOCONSUMO Y CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto es diseñar una instalación fotovoltaica de autoconsumo en las instalaciones de una planta de galvanizado en caliente en Casatejada, Cáceres. La planta fotovoltaica se instalará encima de las marquesinas de los aparcamientos más precisamente.

En primer lugar, se analizan los consumos de la industria desde dos puntos de vista. Por un lado los consumos horarios en cada mes, y por otro el consumo por periodos de facturación para conocer la eficiencia energética. El consumo anual de la industria es de 1035,04MWh. Y se puede decir que la empresa es eficiente energéticamente, ya que el periodo de mayor consumo anual es el periodo 6 (00:00-08:00, y el más barato).

Se estudian también los parámetros que van a limitar el diseño de la instalación tales como: irradiación solar local, superficie disponible, módulos fotovoltaicos e inversor, inclinación y números de módulos y pérdidas. Se ha escogido utilizar módulos Risen Solar “RSM-154-440M” e inversor HUAWEI “SUN100KTL”. Los módulos se seleccionaron en base a un estudio de comparación entre distintos tipos de paneles, en el cual resulta ser el escogido el más barato en términos de coste por kW instalado. También se analizan los cableados en corriente continua y alterna, las protecciones del equipo y del personal que lo maniobra y el sistema de puesta a tierra.

Los factores más limitantes son los consumos (magnitud y horarios) de la industria y la superficie disponible. De forma que, se plantea la hipótesis de que, toda la energía generada se autoconsume sin generar excedentes, lo que significa que a mayor la potencia instalada, mayor la rentabilidad.

Teniendo esta hipótesis en cuenta, se acomete el dimensionamiento mediante método analítico, de donde se obtiene:

Inclinación	Número máximo de módulos	Strings	Módulos/string	Potencia instalada máxima
5º	288	16	18	127kWp

Tabla 30: Resultados dimensionamiento analítico. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, el dimensionamiento por método computacional, en el cual primeramente se trata de demostrar la hipótesis planteada. Mediante una simulación avanzada en el programa PVsyst, se evalúan distintas potencias de instalación, partiendo de la máxima (hallada con el método analítico). En este, se compara el autoconsumo anual, el payback y la generación de excedentes. Resulta en ser la más eficiente la de máxima potencia, dado que no hay excedentes en ninguna y por tanto a mayor potencia instalada, menor payback y mayor la rentabilidad. Se verifica la hipótesis.

Tras establecer los apartados técnicos de la instalación, se analizan los aspectos económicos y medioambientales. El impacto económico de la instalación para la empresa es más notable durante los meses de verano debido a los niveles de irradiación solar.

Mes	%E. Autoconsumida (de la total consumida)
Enero	9,4
Febrero	16,1
Marzo	21,3
Abril	36,1
Mayo	31,7
Junio	34,3
Julio	33,6
Agosto	32,8
Septiembre	20,7
Octubre	14,0
Noviembre	10,9
Diciembre	12,1

Tabla 31: %E. Autoconsumida respecto del total del consumo. Fuente: Elaboración Propia.

En el apartado medioambiental, la planta fotovoltaica supone un ahorro en explotación de tecnologías muy contaminantes tales como el ciclo combinado. El ahorro anual en emisión de CO₂ que supone la fotovoltaica diseñada es de 41 toneladas anuales, lo que se traduce en plantar 246 árboles al año.

Se comenta la posibilidad y requisitos necesarios para adquirir una subvención del Estado, la cual reduciría en gran medida el periodo de amortización. En el apartado económico se

desarrolla un balance teniendo en cuenta: los costes de la energía desglosados, energía generada, inflación anual (2%), vida útil (25 años), degradación anual de los paneles (0,5%). De dicho balance económico se extraen indicadores económicos tales como el TIR, VAN y Payback. La tasa de descuento del proyecto se ha fijado en 5%.

Tasa de descuento	VAN	TIR	PayBack
5%	151.612 €	13%	7,25722121

Demostrando la rentabilidad del proyecto.

Como conclusión económica, se estima la reducción de costes eléctricos en el primer año.

	Consumo anual [kWh]	Facturación sin FV	Facturación con FV
P1	129817	18.141,80 €	11.746,83 €
P2	166038	21.137,30 €	17.634,73 €
P3	80167	8.656,35 €	6.693,67 €
P4	135735	13.584,36 €	11.090,92 €
P5	119874	10.140,98 €	6.059,15 €
P6	338999	26.866,01 €	25.446,73 €
TOTAL	970630	98526,79931	78672,03679
		DIFERENCIA	19.854,76 €

Tabla 32: Estimación de reducción de costes en el primer año. Fuente: Elaboración Propia.

Dicha estimación es del primer año, conforme avanza el tiempo, debido a la inflación, la reducción de costes anuales será mayor.

La instalación diseñada además de ser una fuente de generación de energía eléctrica renovable y no contaminante, supone un ahorro importante en la factura eléctrica del usuario, lo que lo hace un proyecto económicamente atractivo, viable y sostenible.

Resumen de la instalación:

	Paneles Fotovoltaicos	Inversor
Marca	Risen Solar	Huawei
Modelo	RSM-156-440M	SUN2000-100KTL-M1

Nº de módulos	Potencia Instalada (kWp)	Energía Anual Consumida (MWh)	Energía anual producida (MWh)	Consumo anual neto (MWh)
288	127	1035,04	186,4	848,64

VAN	TIR
151.612,23 €	13%

Tabla 33: Resumen de la Instalación. Fuente: Elaboración propia.

BIBLIOGRFÍA

- [1] **J. Pañuelas, «UABDibulga»:**

<https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/la-necesidad-de-descarbonizar-la-sociedad-1345680342040.html?articleId=1294730649200>

- [2] **UNEF, «UNEF»:**

<https://www.unef.es/es/comunicacion/comunicacion-post/el-autoconsumo-fotovoltaico-instalado-en-espana-crecio-mas-del-100-en-2021>

- [3] **Ministerio para la transición ecológica, Gobierno de España, «BOE244/2019»:**

<https://www.hacienda.gob.es/BoletinesHacienda/Boletines/2019/63013.pdf>

- [4] **Jefatura del Estado, Gobierno de España, «BOE15/2018»:**

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-13593>

- [5] **United Nations, Climate Change, «El Acuerdo de París»:**

<https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>

- [6] **Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030»:**

https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf

- [7] **H. d. R. d. Autoconsumo, «Ministerio de Transición Ecológica»:**

https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/hoja-ruta-autoconsumo/hojaderutaautoconsumo_tcm30-534411.pdf

- [8] **Risen Solar Energy, «Ficha Técnica Risen Solar»:**

<https://betsolar.es/wp-content/uploads/2020/03/RSM156-6-425-445M-G2.3-Plus-IEC1500V-40mm-2019H2-3-EN.pdf>

- [9] **Suministros del Sol, «Suministros del Sol (Inversor Huawei SUN2000-100KTL)»:**

<https://suministrodelsol.com/es/inversor-conexion-a-red/939-inversor-huawei-sun2000-100ktl-m1.html>

- [10] **CENELEC, «Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión».**

- [11] **CENELEC, «Reglamento electrotécnico Baja Tensión, ITC-07».**

- [12] **Electricidad.tienda, «Electricidad.tienda (cableado de cable de cc)»:**

<https://www.electricidad.tienda/cable-solar/cable-solar-1x6mm2-exzehellentsolar-zz-f-18kv-general-cable-7176.html>

- [13] **RCTcables, «RCTcables(CA)»:**

<https://www.cablesrct.com/productos/cables-por-material/cables-libres-de-halogenos/175-0-6-1kv/2206-rz1-k-as-0-6-1kv-2>

- [14] **BENDER, «Vigilancia del aislamiento y medidas de protección en instalaciones fotovoltaicas»:**

<https://www.bender.es/informacion-tecnica/articulos-tecnicos/vigilancia-del-aislamiento-y-medidas-de-proteccion-en-instalaciones-fotovoltaicas>

[15] **P. R. Gallo, «Library»:**

<https://1library.co/document/yj7gwrpy-microgeneracion-fotovoltaica-software-pvsyst-centro-poblado-marcos-lambayeque.html>

[16] **C. Garret, «Climate Consulting Selectra»:**

<https://climate.selectra.com/es/actualidad/co2-arbol>

[17] **Consejería de Transición Ecológica y Sostenibilidad, «Noticias Jurídicas»:**

https://noticias.juridicas.com/base_datos/CCAA/717581-d-145-2021-de-21-dic-ca-extremadura-bases-reguladoras-de-subsvenciones-para.html

[18] **Junta de Industria de Extremadura, «Junta de Extremadura»:**

<http://industriaextremadura.juntaex.es/kamino/index.php/ayudas-y-subsvenciones-menu superior/1146-root/contenidos/subsvenciones/14093-listado-de-ayudas-y-subsvenciones-26>

[19] **O. D. Sostenible, «Naciones Unidas»:**

<http://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>

ANEXO I

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

I. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

En el año 2015 los dirigentes del mundo se reunieron en la sede de la Naciones Unidas para acordar una agenda de desarrollo con vista hacia 2030. La agenda de desarrollo sostenible es un plan de acción con el fin de asegurar la prosperidad del planeta y las personas. Los 17 objetivos de desarrollo sostenible marcados durante la conferencia, son una vía para erradicar la pobreza, promover la prosperidad, el estado de bienestar, y frenar la inercia de cambio climático. Resaltar que, si bien los objetivos marcan las aspiraciones a nivel mundial, las diferentes naciones marcarán sus propias metas para acercarse lo máximo posible a las globales.

Los objetivos de la ONU son:

1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
4. Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.
5. Lograr la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de todas las mujeres y niñas
6. Garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación sostenible y el saneamiento para todos.
7. **Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.**
8. **Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.**
9. **Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.**
10. Reducir la desigualdad en y entre los países.
11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12. **Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.**

13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (tomando nota de los acuerdos celebrados en el foro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).
14. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una ordenación sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.
16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
17. Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible. [19]



Producido en colaboración con TROLLBACK + COMPANY | trollbackandtrollback.com | +1.212.829.1010
Para cualquier duda sobre la utilización, por favor contáctanos con: dp@campaignforun.org

Ilustración 37: Objetivos desarrollo sostenible de la ONU, 2015. Fuente: ONU.

Como se puede observar, los objetivos marcados por las Naciones Unidas van dirigidos hacia la protección las personas que viven en condiciones de desigualdad y la protección del ecosistema mediante la concienciación, el compromiso, y un sistema industrial donde se potencia la sostenibilidad medioambiental.

En la instalación diseñada durante este proyecto, se cumplen varios de los objetivos anteriormente mencionados (marcados en negrita). A continuación, se comentarán los objetivos que se cumplen así como sus metas.

OBJETIVO 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

Este objetivo está altamente relacionado con este proyecto. Las fuentes de energía renovables y más aún la fotovoltaica, cumple con cada uno de los criterios marcados en este objetivo. Es una tecnología altamente segura, moderna, y sobre todo de costee de inversión muy reducido frente a otras, de tal forma que cualquier industria, comunidad o servicio público, puede afrontar acometer una instalación de este tipo.

Las metas cumplidas del objetivo 7 son:

7.2. De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas

7.3. De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética

OBJETIVO 8: Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo.

Además del aspecto sostenible, las fuentes renovables es una tecnología en auge que dado su crecimiento, cada día genera más empleo ya sea desde el obrero que se dedica a la instalación y montaje, como todas las nuevas PIME's emergentes, muchas formadas por jóvenes emprendedores.

Las metas cumplidas del objetivo 8:

8.2. Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra

8.3. Promover políticas orientadas al desarrollo que apoyen las actividades productivas, la creación de puestos de trabajo decentes, el emprendimiento, la creatividad y la innovación, y fomentar la formalización y el crecimiento de las microempresas y las pequeñas y medianas empresas, incluso mediante el acceso a servicios financieros

8.4. Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados

OBJETIVO 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

La fotovoltaica de autoconsumo a parte de su generación renovable, evita el uso de fuentes de generación que explotan los recursos naturales finitos de la tierra y extremadamente contaminantes, por no mencionar el alto precio de las que utilizan gas natural (mencionado en el apartado de Impacto de la instalación). Todos estos motivos alientan cada vez más a las grandes empresas a la instalación de fuentes renovables.

Las metas cumplidas del objetivo 12:

12.2 De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.

12.4 De aquí a 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.

12.6 Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes.

OBJETIVO 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (tomando nota de los acuerdos celebrados en el foro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).

A pesar de que dichas medidas son adoptadas por el gobierno de la nación, en el proyecto diseñado, se toma ventaja de una de estas medidas. De tal forma se adquiere una subvención que promueve la implantación fotovoltaica.

Las metas cumplidas del objetivo 13:

13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

ANEXO II

INFORME PVSYST

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Galvexsa

Variant: Simulación 1

No 3D scene defined, no shadings

System power: 127 kWp

Casatejada - España

| Author



PVsyst V7.2.16

VCO, Simulation date:
31/08/22 13:05
with v7.2.16

Project summary

Geographical Site

Casatejada
España

Situation

Latitude 39.90 °N
Longitude -5.69 °W
Altitude 275 m
Time zone UTC+1

Project settings

Albedo 0.20

Meteo data

Casatejada
PVGIS api TMY

System summary

Grid-Connected System

No 3D scene defined, no shadings

PV Field Orientation

Fixed plane
Tilt/Azimuth 5 / 28 °

Near Shadings

No Shadings

User's needs

Monthly values

System information

PV Array

Nb. of modules 288 units
Pnom total 127 kWp

Inverters

Nb. of units 1 unit
Pnom total 100 kWac
Pnom ratio 1.267

Results summary

Produced Energy 186.5 MWh/year Specific production 1472 kWh/kWp/year Perf. Ratio PR 81.48 %
Used Energy 1035.0 MWh/year Solar Fraction SF 18.01 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Special graphs	6

**PVsyst V7.2.16**

VCO, Simulation date:
31/08/22 13:05
with v7.2.16

General parameters**Grid-Connected System**

No 3D scene defined, no shadings

PV Field Orientation**Orientation**

Fixed plane

Tilt/Azimuth 5 / 28 °

Sheds configuration

No 3D scene defined

Models used

Transposition	Perez
Diffuse	Imported
Circumsolar	separate

Horizon

Free Horizon

Near Shadings

No Shadings

User's needs

Monthly values

Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
2963	3005	2527	2340	2933	2888	3226	2719	3342	2961	2716	2423	2836	kWh/day

PV Array Characteristics**PV module**

Manufacturer

Risen Solar

Model

RSM-156-6-440-M

(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power

440 Wp

Number of PV modules

288 units

Nominal (STC)

127 kWp

Modules

16 Strings x 18 In series

At operating cond. (50°C)

Pmpp

115 kWp

U mpp

709 V

I mpp

162 A

Total PV power

Nominal (STC)

127 kWp

Total

288 modules

Module area

625 m²

Cell area

544 m²**Inverter**

Manufacturer

Huawei Technologies

Model

SUN2000-100KTL-M1-400Vac

(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power

100 kWac

Number of inverters

1 unit

Total power

100 kWac

Operating voltage

200-1000 V

Max. power (=>33°C)

110 kWac

Pnom ratio (DC:AC)

1.27

Total inverter power

Total power

100 kWac

Number of inverters

1 unit

Pnom ratio

1.27

Array losses**Array Soiling Losses**

Loss Fraction 3.0 %

Thermal Loss factor

Module temperature according to irradiance

Uc (const)

20.0 W/m²K

Uv (wind)

0.0 W/m²K/m/s**DC wiring losses**

Global array res.

73 mΩ

Loss Fraction

1.5 % at STC

Serie Diode Loss

Voltage drop

0.7 V

Loss Fraction

0.1 % at STC

LID - Light Induced Degradation

Loss Fraction

2.0 %

Module Quality Loss

Loss Fraction

-0.8 %

Module mismatch losses

Loss Fraction

2.0 % at MPP

Strings Mismatch loss

Loss Fraction

0.1 %

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



PVsyst V7.2.16

VC0, Simulation date:
31/08/22 13:05
with v7.2.16

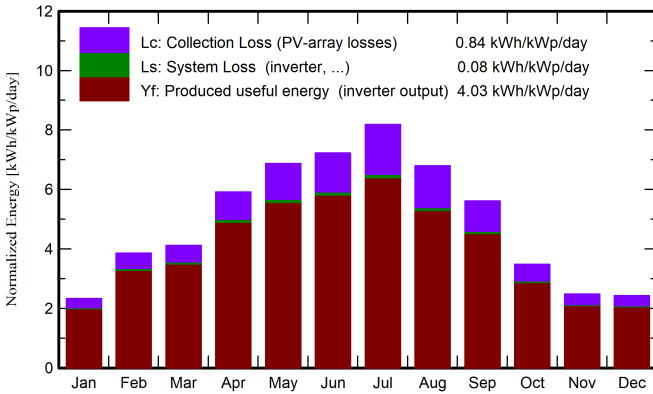
Main results

System Production

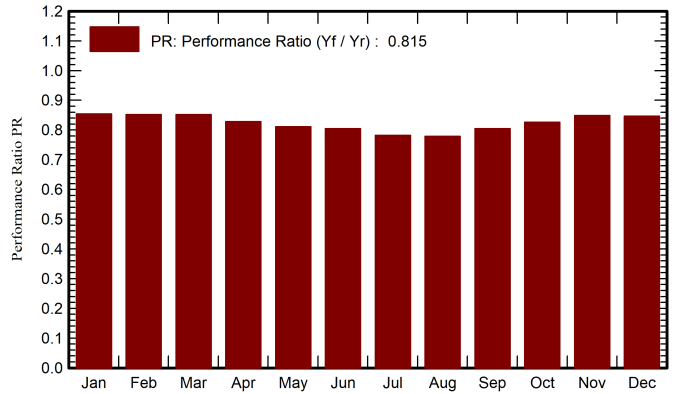
Produced Energy 186.5 MWh/year
Used Energy 1035.0 MWh/year

Specific production 1472 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 81.48 %
Solar Fraction SF 18.01 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
January	65.2	28.18	7.25	72.4	66.1	7.98	91.8	7.83	-0.002	84.02
February	99.3	29.19	8.32	108.1	100.5	11.89	84.1	11.67	-0.001	72.46
March	121.9	52.98	9.70	127.5	119.6	14.04	78.3	13.77	-0.001	64.56
April	172.7	57.36	13.79	177.6	167.7	19.01	70.2	18.61	0.041	51.59
May	210.9	71.19	18.34	213.0	201.7	22.30	90.9	21.89	-0.001	69.03
June	215.6	66.40	20.39	216.7	205.2	22.53	86.6	22.11	-0.001	64.53
July	251.4	52.72	25.75	253.7	240.5	25.63	100.0	25.16	-0.001	74.85
August	206.1	47.26	28.02	210.8	200.0	21.20	84.3	20.82	-0.001	63.46
September	161.1	44.44	22.08	168.6	159.0	17.51	100.3	17.19	-0.001	83.08
October	101.3	42.39	17.42	107.9	100.5	11.50	91.8	11.30	-0.001	80.48
November	67.8	30.83	11.10	74.4	68.3	8.14	81.5	8.00	-0.002	73.48
December	66.2	23.20	6.82	75.3	68.0	8.23	75.1	8.08	-0.002	67.03
Year	1739.3	546.16	15.80	1806.0	1697.0	189.98	1035.0	186.44	0.026	848.57

Legends

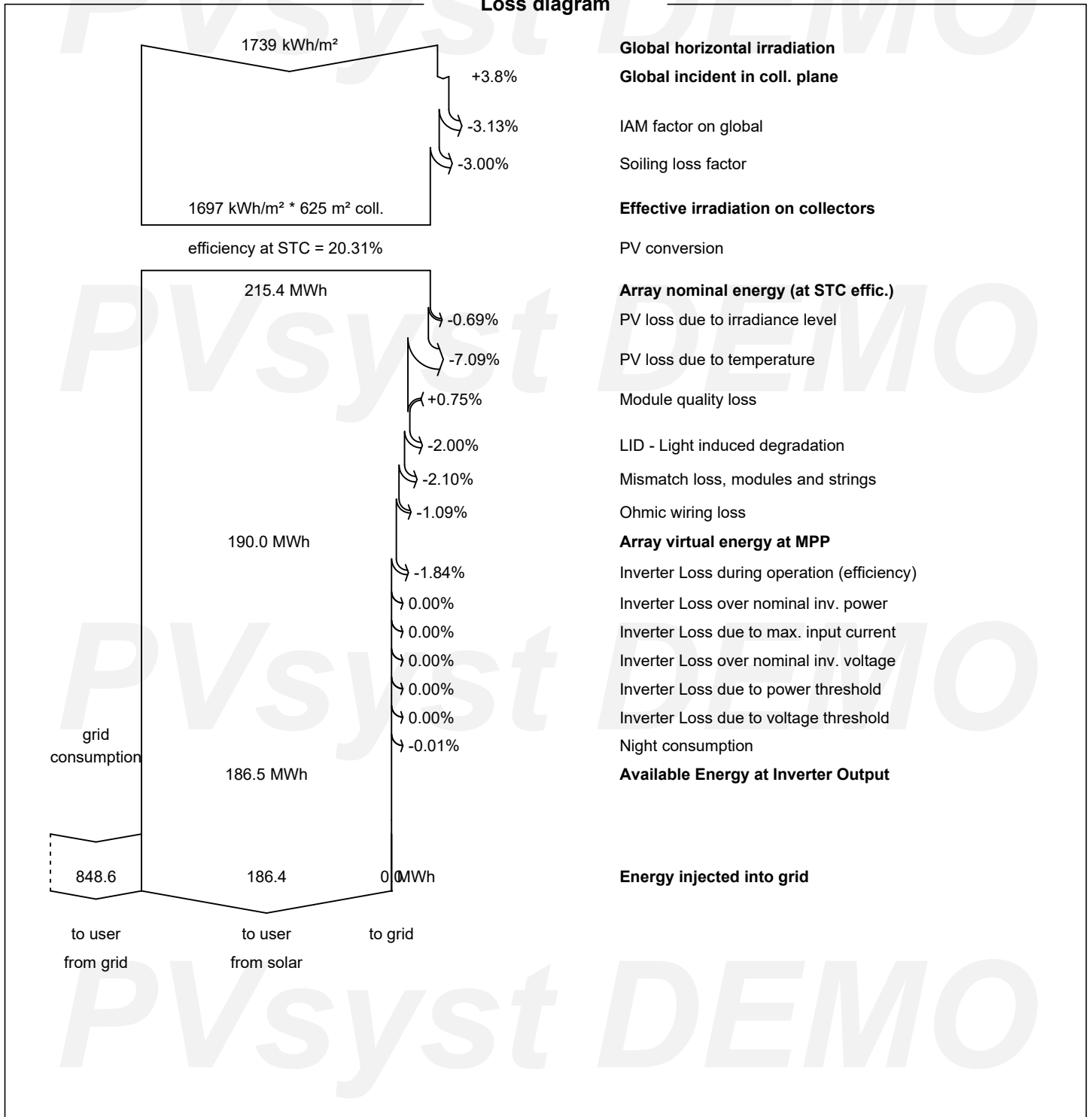
- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E_User Energy supplied to the user
- E_Solar Energy from the sun
- E_Grid Energy injected into grid
- EFrGrid Energy from the grid



PVsyst V7.2.16

VC0, Simulation date:
31/08/22 13:05
with v7.2.16

Loss diagram



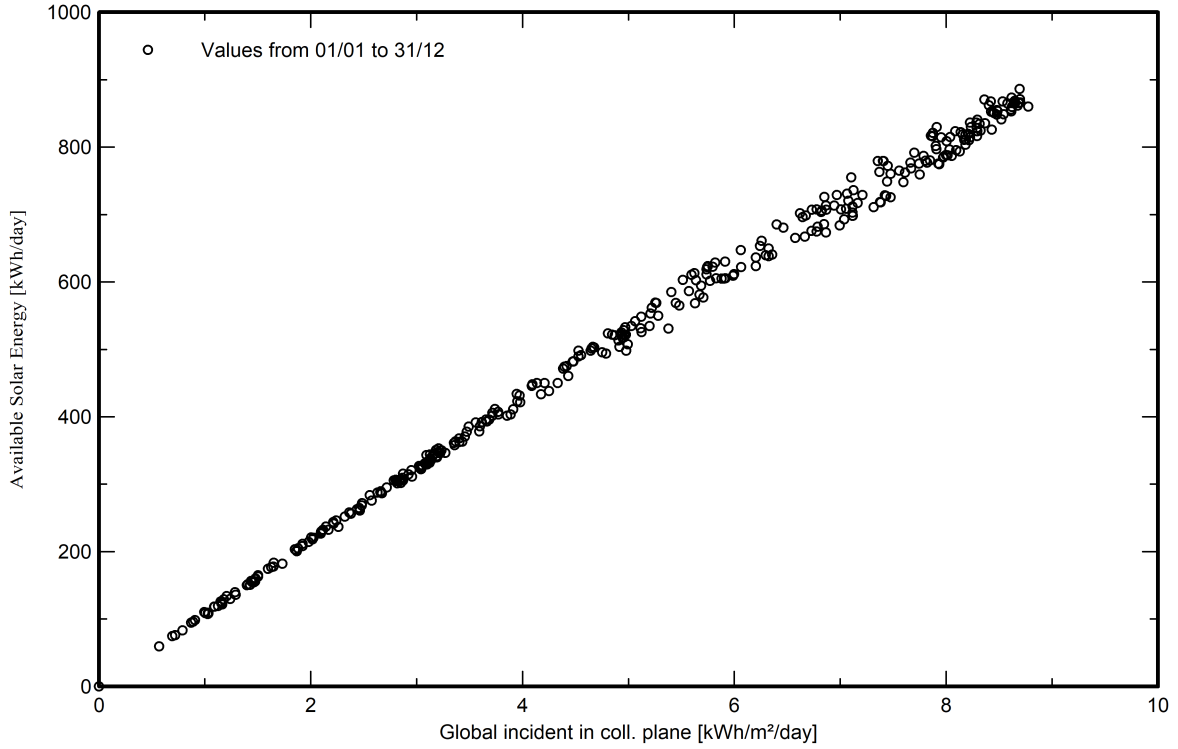


PVsyst V7.2.16

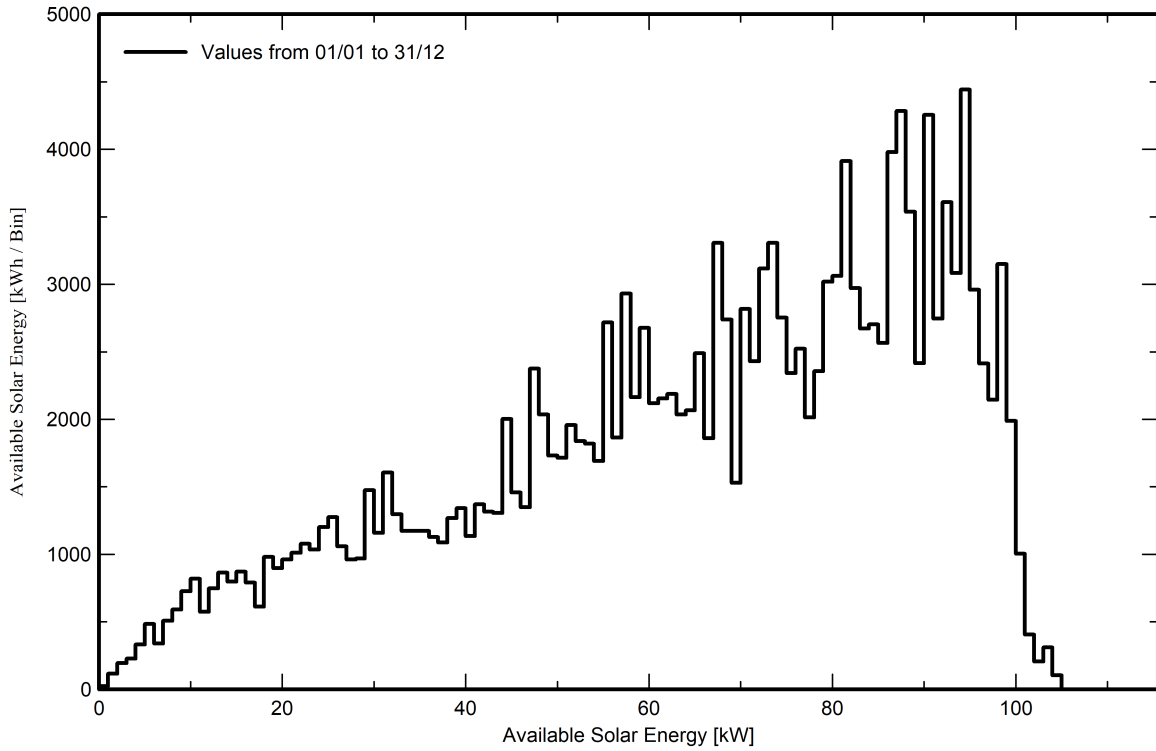
VC0, Simulation date:
31/08/22 13:05
with v7.2.16

Special graphs

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de potencia de salida del sistema



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INDUSTRIAL (ICAI)
GRADO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

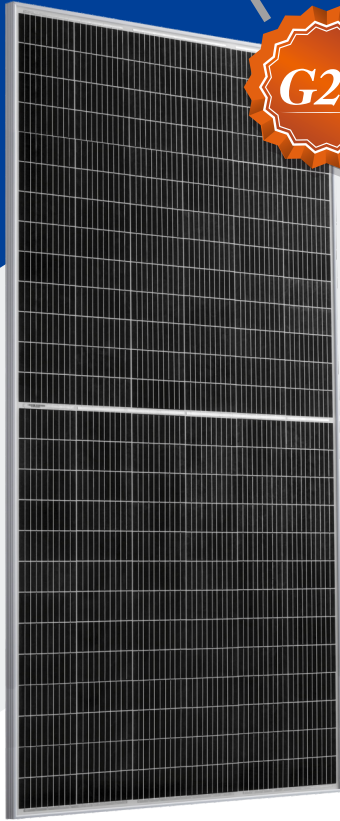


ANEXO III

FICHAS TÉCNICAS

Jäger Plus

HIGH PERFORMANCE
MONOCRYSTALLINE PERC MODULE



G2.3

RSM156-6-425M-445M

156 CELL Mono PERC Module	425-445Wp Power Output Range
1500VDC Maximum System Voltage	20.5% Maximum Efficiency

KEY SALIENT FEATURES

-  Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing
-  Industry leading lowest thermal co-efficient of power
-  Industry leading 12 years product warranty
-  Excellent low irradiance performance
-  Excellent PID resistance
-  Positive tight power tolerance
-  Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product
-  Module Imp binning radically reduces string mismatch losses
-  Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements
-  Certified to withstand severe environmental conditions
 - ◆ Anti-reflective & anti-soiling surface minimise power loss from dirt and dust
 - ◆ Severe salt mist, ammonia & blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments
 - ◆ Excellent mechanical load 2400Pa & snow load 5400Pa resistance



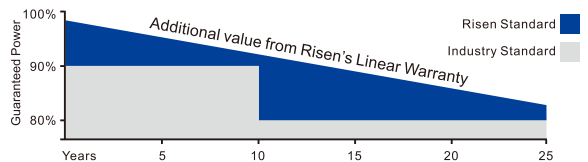
RISEN ENERGY CO., LTD.

Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1986, and publicly listed in 2010, compels value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consummate quality and support, encircle Risen Energy's total Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy.

Tashan Industry Zone, Meilin, Ninghai 315609, Ningbo | PRC
Tel: +86-574-59953239 Fax: +86-574-59953599
E-mail: marketing@risenenergy.com Website: www.risenenergy.com

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 year Product Warranty / 25 year Linear Power Warranty

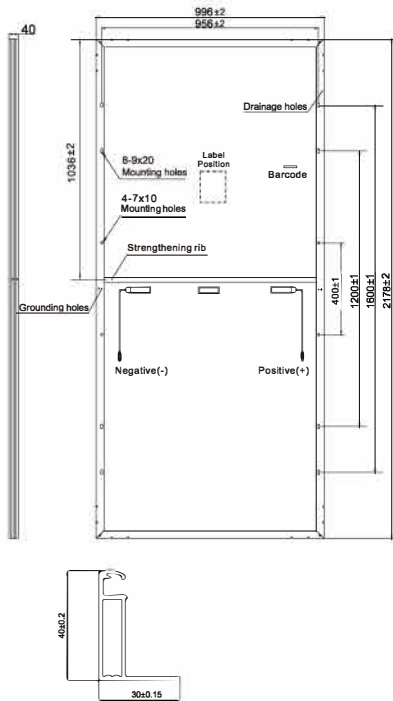


* Please check the valid version of Limited Product Warranty which is officially released by Risen Energy Co., Ltd



Preliminary
For Global Market

Dimensions of PV Module Unit: mm



ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM156-6-425M	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	425	430	435	440	445
Open Circuit Voltage-Voc(V)	52.23	52.38	52.50	52.62	52.70
Short Circuit Current-Isc(A)	10.38	10.47	10.57	10.67	10.77
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	43.50	43.60	43.70	43.80	43.90
Maximum Power Current-Imp(A)	9.78	9.87	9.97	10.06	10.15
Module Efficiency (%) *	19.6	19.8	20.1	20.3	20.5

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

* Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM156-6-425M	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M
Maximum Power-Pmax (Wp)	318.0	321.8	325.5	329.3	332.9
Open Circuit Voltage-Voc (V)	48.10	48.20	48.30	48.40	48.48
Short Circuit Current-Isc (A)	8.51	8.59	8.67	8.75	8.83
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	39.80	39.90	40.00	40.10	40.24
Maximum Power Current-Imp (A)	7.98	8.06	8.13	8.21	8.27

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Monocrystalline, 9BB
Cell configuration	156 cells (6×13+6×13)
Module dimensions	2178×996×40mm
Weight	25.5kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm ² (12AWG), Positive(+)270mm, Negative(-)270mm
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

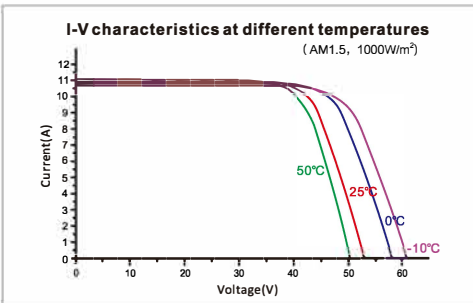
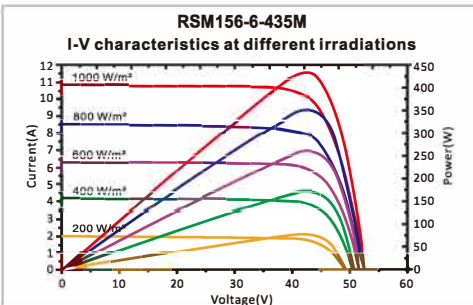
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	45°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.37%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

PACKAGING CONFIGURATION

	40ft	20ft
Number of modules per container	540	270
Number of modules per pallet	27	27
Number of pallets per container	20	10
Packaging box dimensions (LxWxH) in mm	2205×1130×1130	2205×1130×1130
Box gross weight[kg]	745	745

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.

©2019 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.



Our Partners:

SUN2000-100KTL-M1

Inversor de String Inteligente



10 Seguidores MPP



98.8% Máx. Eficiencia



Monitorización a nivel de string



Diagnóstico inteligente de curvas I-V admitido



Detección de corriente residual integrada



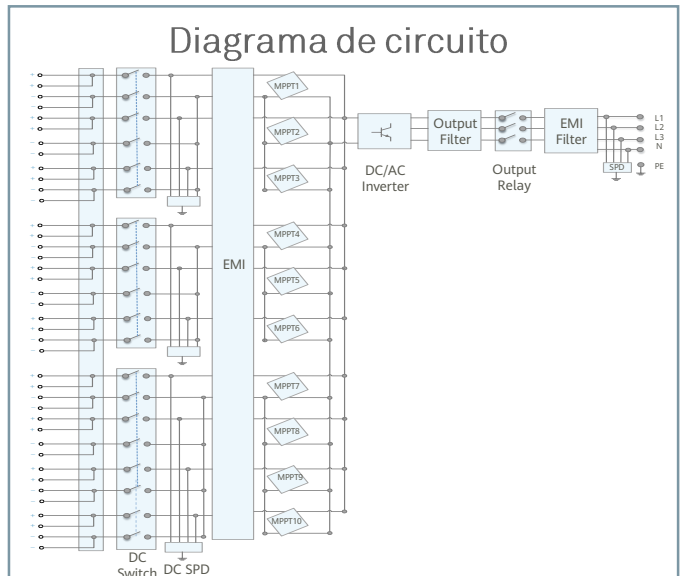
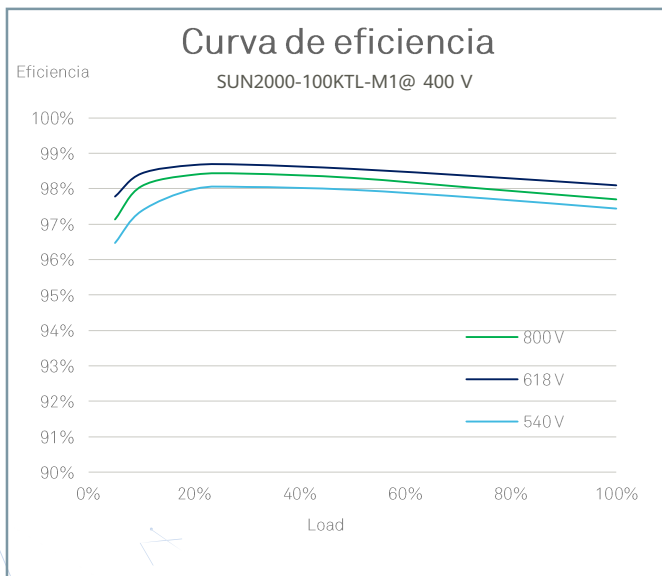
Diseño sin fusibles



Protección contra sobretensiones DC y AC



IP66 Protección

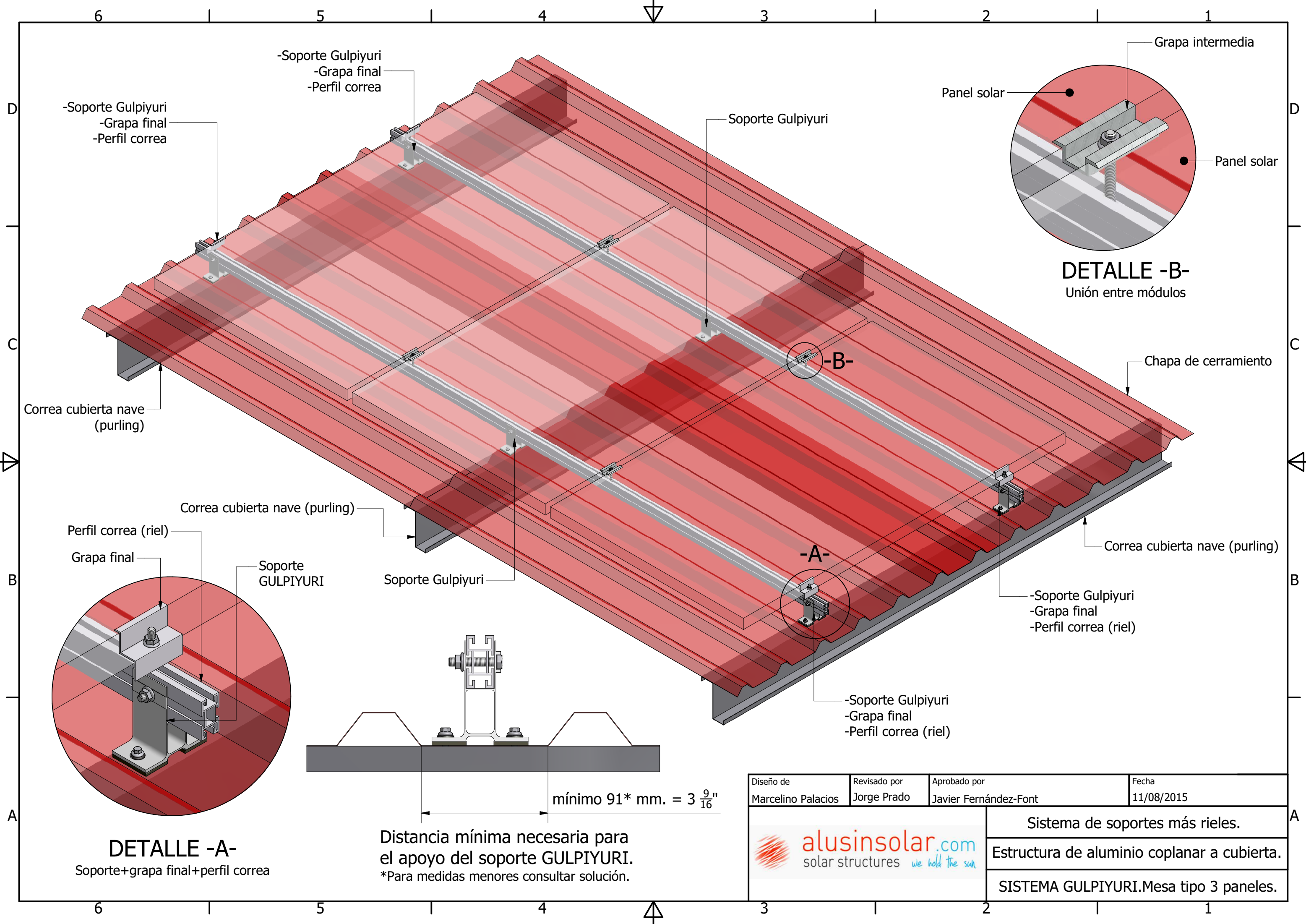


Preliminary Version

Especificaciones técnicas

Eficiencia	
Máx. Eficiencia	98.8% @480 V; 98.6% @380 V/400 V
Eficiencia europea	98.6% @480 V; 98.4% @380 V/400 V
Entrada	
Máx. tensión de entrada	1,100 V
Máx. intensidad por MPPT	26 A
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT	40 A
Tensión de entrada inicial	200 V
Rango de tensión de operación de MPPT	200 V ~ 1,000 V
Tensión nominal de entrada	570 V @380 V; 600 V @400 V; 720 V @480 V
Número de entradas	20
Número de MPPTs	10
Salida	
Potencia nominal activa de CA	100,000 W (380 V / 400 V / 480 V @40°C)
Máx. potencia aparente de CA	110,000 VA
Máx. potencia activa de CA ($\cos\phi=1$)	110,000 W
Tensión nominal de salida	220 V / 230 V, default 3W + N + PE; 380 V / 400 V / 480 V, 3W + PE
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad de salida nominal	152.0 A @380 V; 144.4 A @400 V; 120.3 A @480 V
Máx. intensidad de salida	168.8 A @380 V; 160.4 A @400 V; 133.7 A @480 V
Factor de potencia ajustable	0.8 LG ... 0.8 LD
Máx. distorsión armónica total	<3%
Protecciones	
Dispositivo de desconexión del lado CC	Sí
Protección contra funcionamiento en isla	Sí
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí
Protección contra polaridad inversa de CC	Sí
Monitorización de fallas en strings de sistemas fotovoltaicos	Sí
Protector contra sobretensiones de CC	Tipo II
Protector contra sobretensiones de CA	Tipo II
Detección de aislamiento de CC	Sí
Unidad de monitorización de la intensidad Residual	Sí
Comunicaciones	
Monitor	Indicadores LED, Bluetooth/WLAN + APP
USB	Sí
RS485	Sí
MBUS	Sí (Transformador de aislamiento requerido)
General	
Dimensiones (ancho x alto x profundidad)	1,035 x 700 x 365mm (40.7 x 27.6x 14.4 pulgadas)
Peso (con soporte de montaje)	90 kg (198.4 lb.)
Rango de temperatura de operación	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Enfriamiento	Ventilación inteligente
Altitud de operación	4,000 m (13,123 ft.)
Humedad relativa	0 ~ 100%
Conector de CC	Staubli MC4
Conector de CA	Conector resistente al agua + OT/DT Terminal
Clase de protección	IP66
Topología	Sin transformador
Cumplimiento estándar (Más información disponible a pedido)	
Certificados	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683

Preliminary Version



-Soporte Gulpiyuri
-Grapa final
-Perfil correa

-Soporte Gulpiyuri
-Grapa final
-Perfil correa

Soporte Gulpiyuri

Grapa intermedia

Panel solar

Panel solar

DETALLE -B-
Unión entre módulos

Chapa de cerramiento

Correa cubierta nave (purling)

Correa cubierta nave (purling)

Perfil correa (riel)

Grapa final

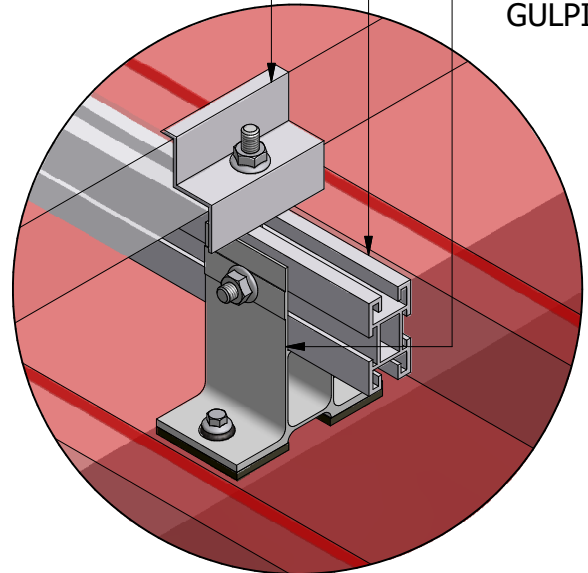
Soporte GULPIYURI

Soporte Gulpiyuri

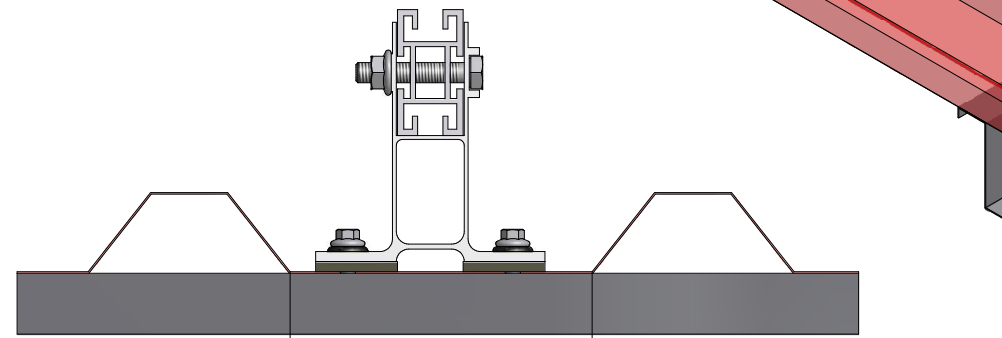
Correa cubierta nave (purling)

-Soporte Gulpiyuri
-Grapa final
-Perfil correa (riel)

-Soporte Gulpiyuri
-Grapa final
-Perfil correa (riel)



DETALLE -A-
Soporte+grapa final+perfil correa



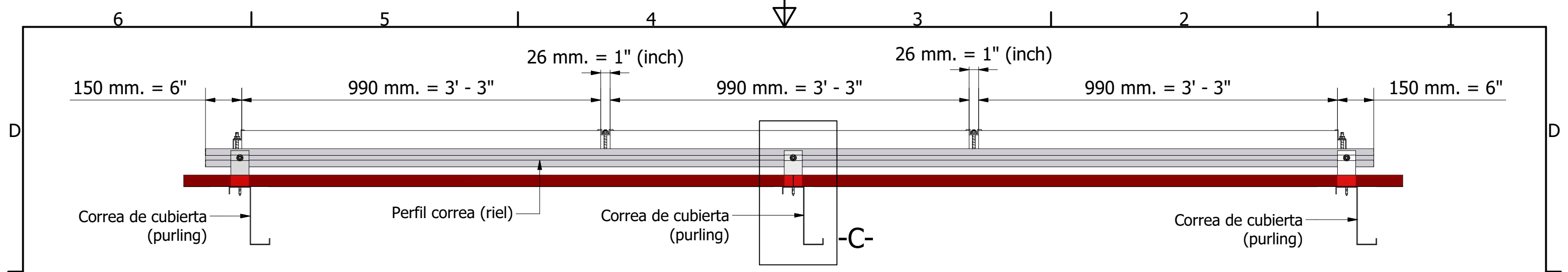
mínimo 91* mm. = 3 ⁹/₁₆"

Distancia mínima necesaria para el apoyo del soporte GULPIYURI.
*Para medidas menores consultar solución.

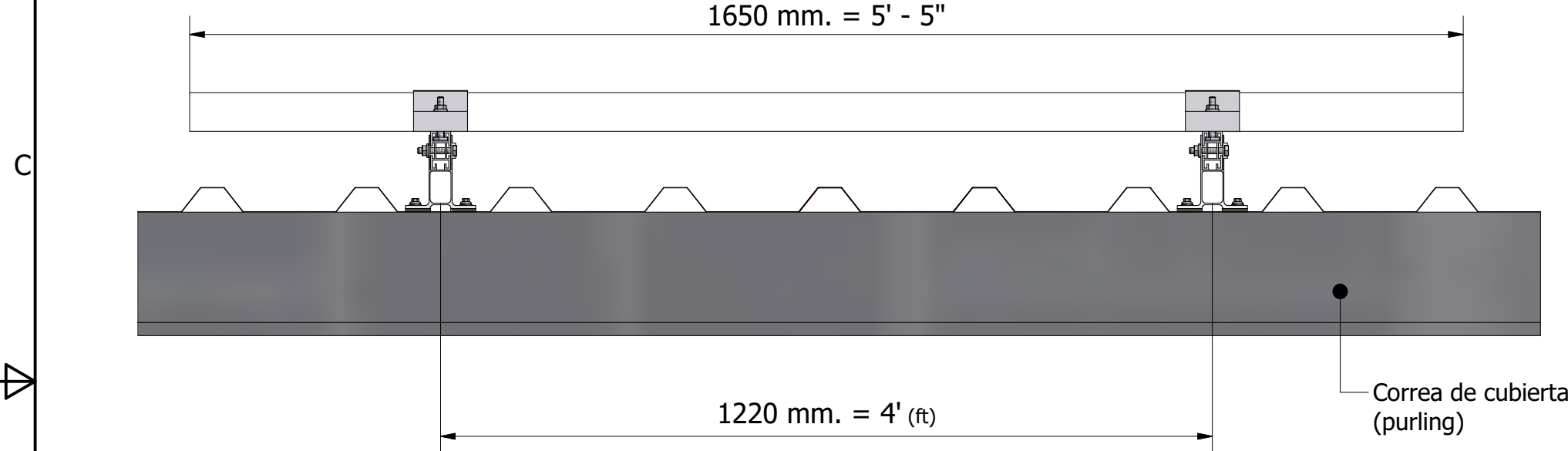
Diseño de Marcelino Palacios	Revisado por Jorge Prado	Aprobado por Javier Fernández-Font	Fecha 11/08/2015
---------------------------------	-----------------------------	---------------------------------------	---------------------



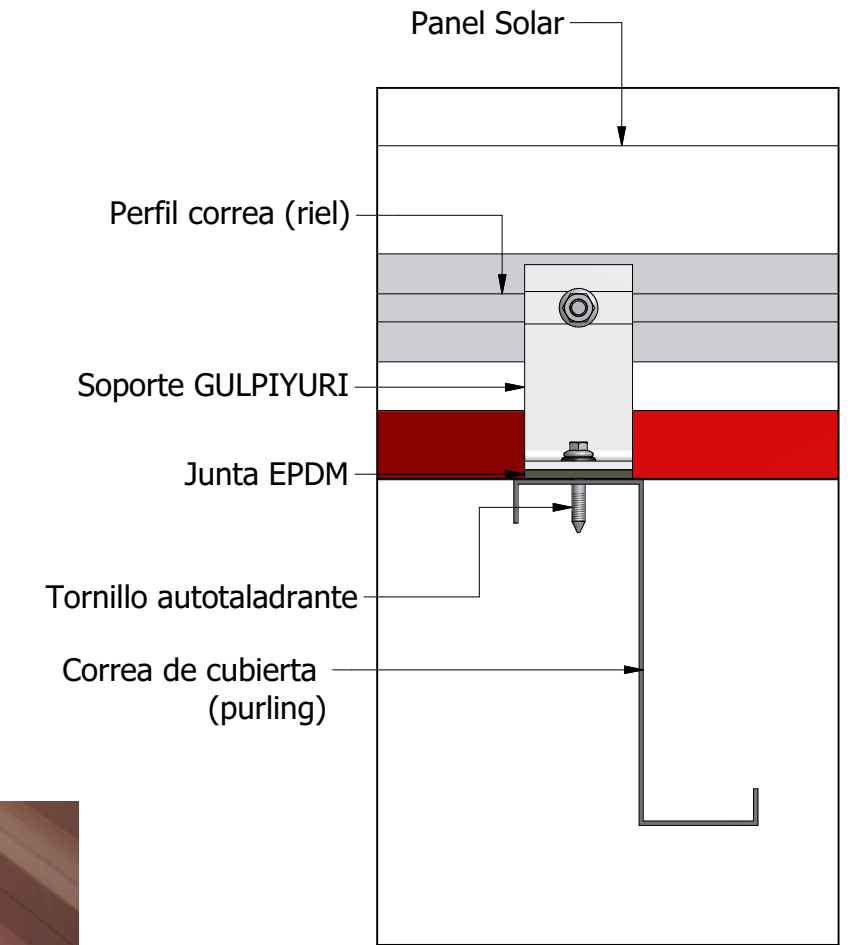
Sistema de soportes más rieles.
Estructura de aluminio coplanar a cubierta.
SISTEMA GULPIYURI. Mesa tipo 3 paneles.



Vista lateral



Vista Frontal

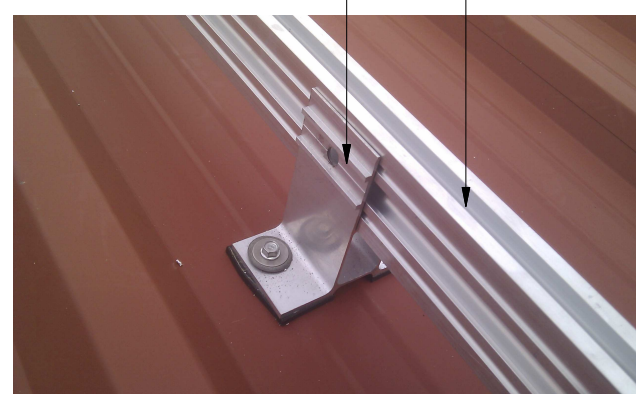
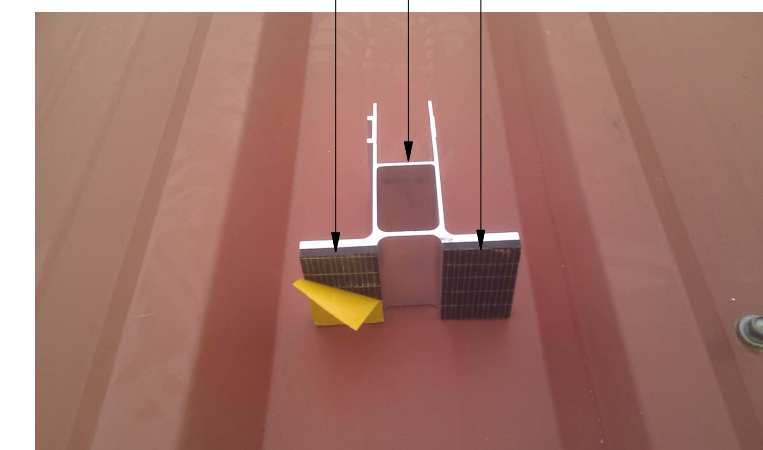


Detalle -C- Fijación a cubierta


Soporte GULPIYURI

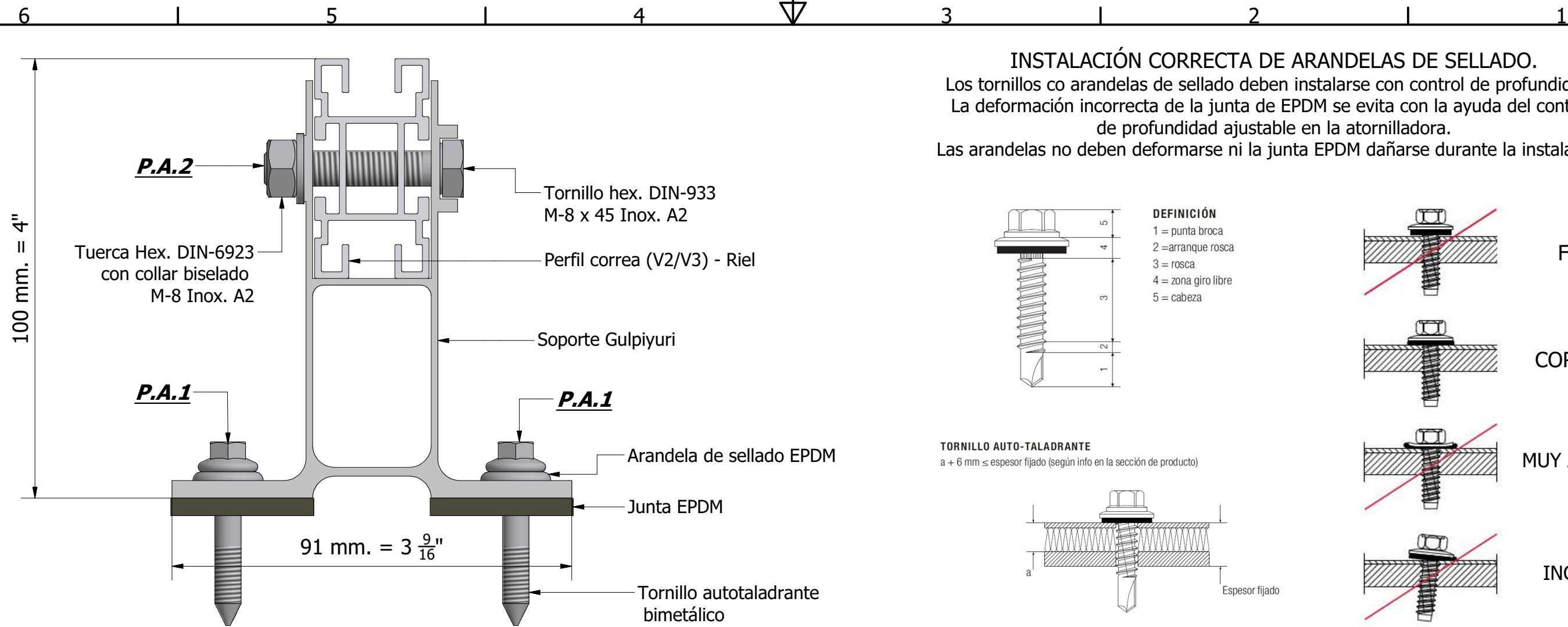
Junta EPDM adhesiva a doble cara (sistema de estanqueidad)

Junta EPDM adhesiva a doble cara (sistema de estanqueidad)

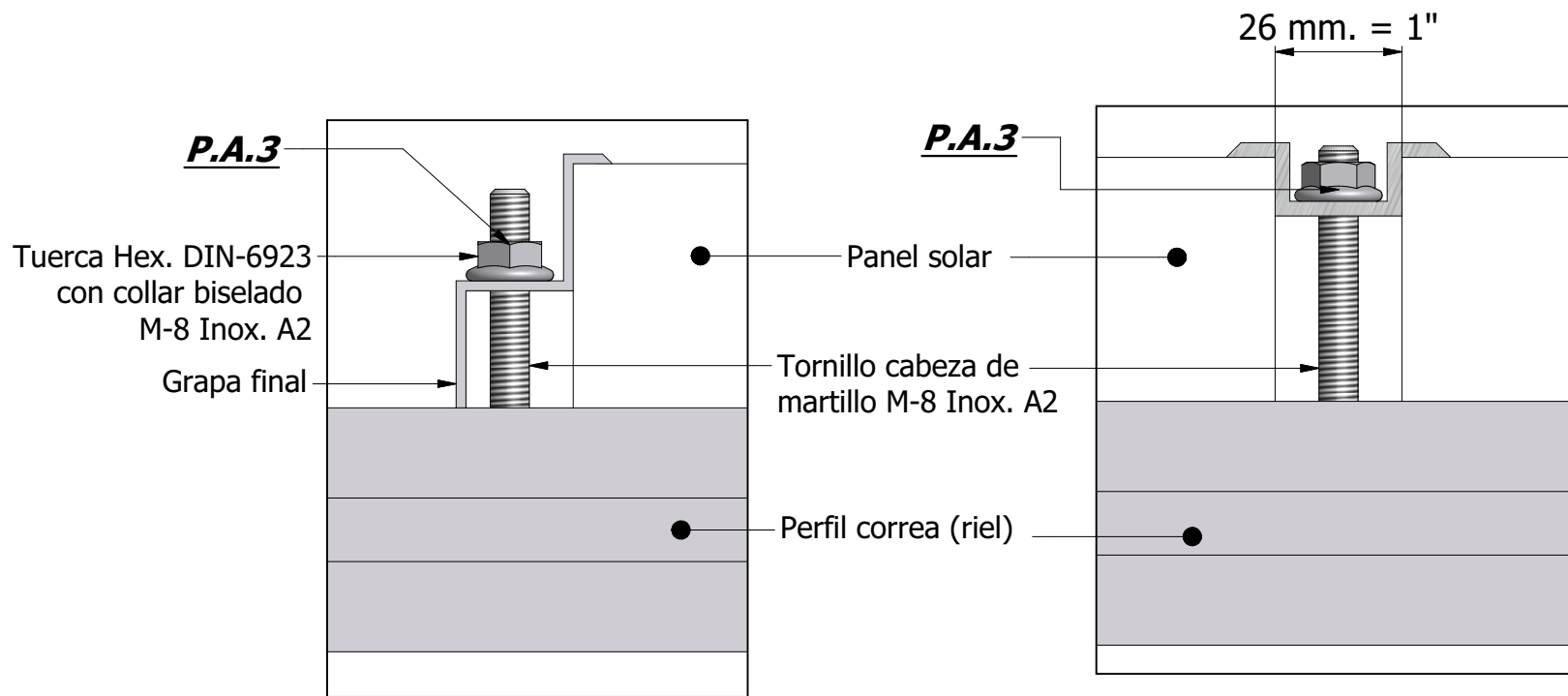


Imágenes - secuencia de montaje

Diseño de Marcelino Palacios	Revisado por Jorge Prado	Aprobado por Javier Fernández-Font	Fecha 11/08/2015
		Sistema de soportes más rieles.	
		Estructura de aluminio coplanar a cubierta.	
SISTEMA GULPIYURI. Vistas.			



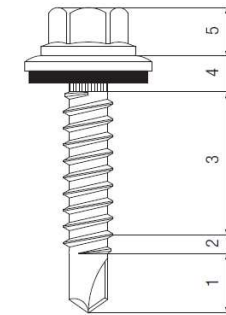
SOPORTE GULPIYURI



Grapa Final
Grapa y longitud de tornillos específica para cada espesor de panel

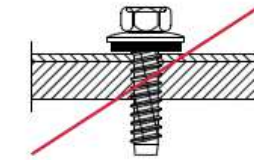
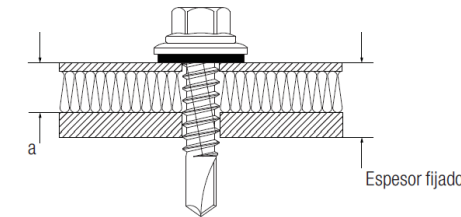
Grapa intermedia
Longitud de tornillo específica para cada espesor de panel

INSTALACIÓN CORRECTA DE ARANDELAS DE SELLADO.
Los tornillos con arandelas de sellado deben instalarse con control de profundidad. La deformación incorrecta de la junta de EPDM se evita con la ayuda del control de profundidad ajustable en la atornilladora. Las arandelas no deben deformarse ni la junta EPDM dañarse durante la instalación.

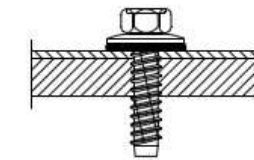


DEFINICIÓN
1 = punta broca
2 = arranque rosca
3 = rosca
4 = zona giro libre
5 = cabeza

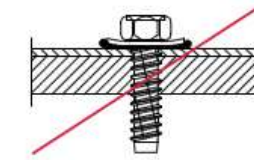
TORNILLO AUTO-TALADRANTE
a + 6 mm ≤ espesor fijado (según info en la sección de producto)



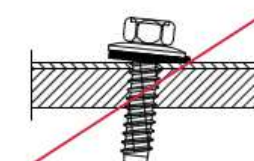
FLOJO



CORRECTO



MUY APRETEDO



INCLINADO

Pares de apriete recomendados:

El par de apriete recomendable para la sujeción de un tornillo depende del tipo de tornillo y del coeficiente de fricción entre tornillo y tuerca, entre otras variables. Para el uso de elementos de fijación en acero inoxidable es altamente recomendable enroscar de manera continuada y a poca velocidad. Si se aplica una alta velocidad de atornillado, dado el alto coeficiente de fricción del acero inoxidable, aumenta la posibilidad de gripado. Para reducir el coeficiente de fricción es recomendable la utilización de lubricantes especiales que facilitan el atornillado y reducen la posibilidad de gripaje. En el caso de las grapas de panel, priorizar el valor indicado por el fabricante del módulo F.V. frente al indicado en esta nota.

(P.A.1) Tornillos autotaladrantes.

JT3 Longitud de punta de 6 mm : desde 1,50 mm hasta 4 mm de espesor de perfil : 5 Nm
JT3 Longitud de punta de 12 mm: desde 3 mm. hasta 12 mm de espesor de perfil : 7 Nm

(P.A.2) Tornillo M-8 x 45.

Soporte GULPIYURI con perfil correa; 13-14 Nm.

(P.A.3) Tornillo cabeza de martillo M-8.

Grapas de panel; 13-14 Nm.

Diseño de Marcelino Palacios	Revisado por Jorge Prado	Aprobado por Javier Fernández-Font	Fecha 11/08/2015
---------------------------------	-----------------------------	---------------------------------------	---------------------

	Sistema de soportes más rieles.
	Estructura de aluminio coplanar a cubierta.
	Detalle soporte GULPIYURI y grapas de panel.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INDUSTRIAL (ICAI)
GRADO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



ANEXO IV

PLANOS

Localización



Localización



Ortofoto



CONFIGURACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO:

Potencia AC:	100 kWac
Potencia DC:	127 kWdc
Inclinación módulos:	5 grados
Acimut:	28 grados
Número de inversores:	1 uds
Potencia de inversores:	100 kW
Potencia del módulo:	440 Wp
Pitch:	-
Número de módulos:	288 uds

LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:

Coordenadas (Gd):	39.9028, -5.69033
Localidad:	Casatejada
Provincia:	Cáceres
País:	España

VERSIÓN: ESCALA:

1	S/E
Nº DE PLANO:	FECHA:
1	22/04/2021

TAMAÑO DE PAPEL:

A3

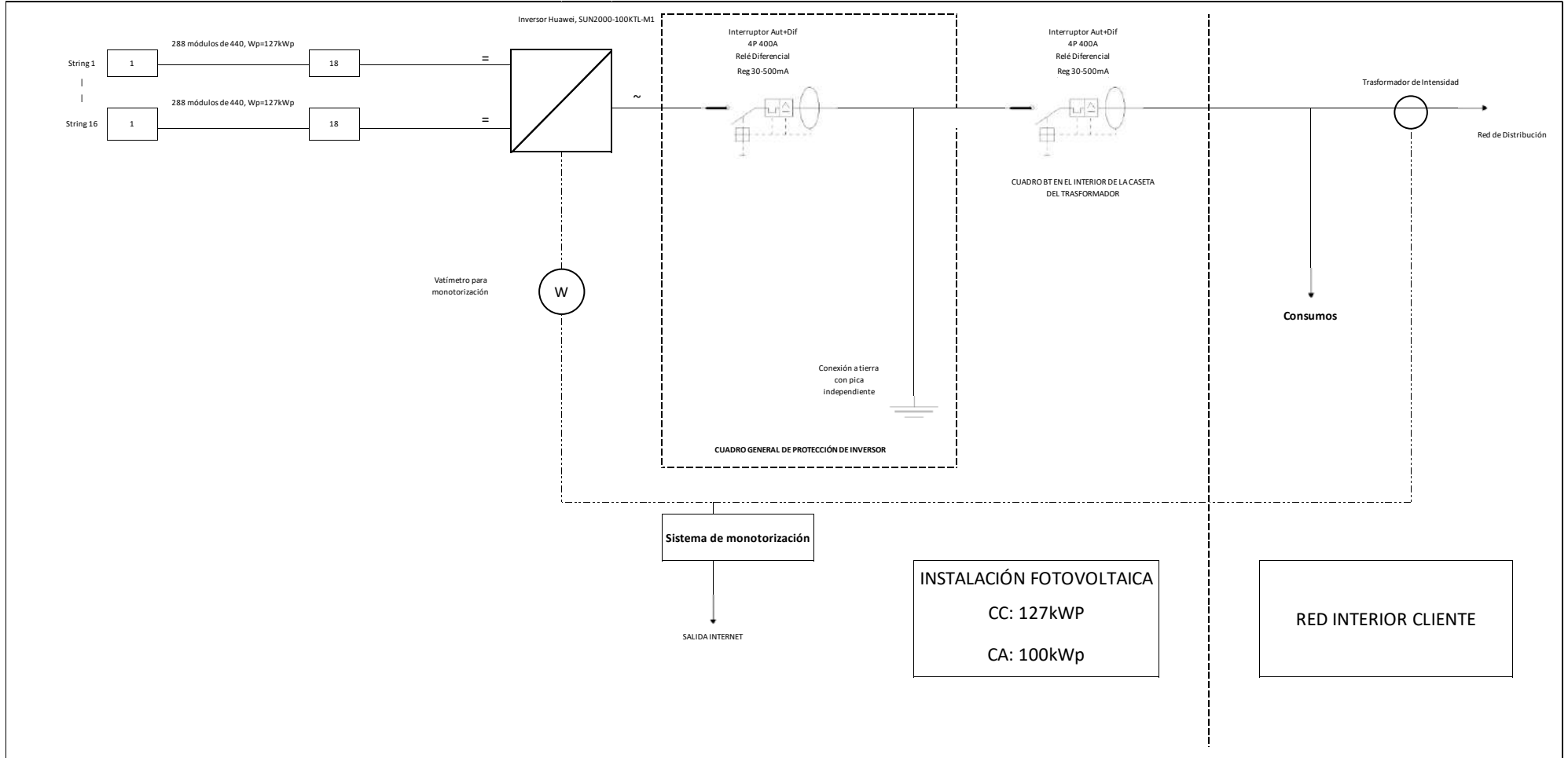
PLANO:

Localización

PROYECTO:

SFV - Galvexsa
Potencia: 127 kW

GALVEXSA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INDUSTRIAL (ICAI)
GRADO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



ANEXO V

BALANCE ECONÓMICO

Detalles técnicos			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vida útil	Años	25	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Inflación anual	%	2,0%													
Degradación de FV	%	0,50%													
Entradas															
Periodo 1	kWh	45760,3448	0,00	45760,3448	45531,5431	45303,8854	45077,3659	44851,9791	44627,7192	44404,5806	44182,5577	43961,6449	43741,8367	43523,1275	43305,5119
Precio	€/kWh	0,139749	0,00	0,139749	0,14254398	0,14539486	0,14830276	0,15126881	0,15429419	0,15738007	0,16052767	0,16373823	0,16701299	0,17035325	0,17376032
Ahorro P1	Euro			6394,96243	6490,24737	6586,95205	6685,09764	6784,70559	6885,79771	6988,39609	7092,52319	7198,20179	7305,45499	7414,30627	7524,77944
Periodo 2	kWh	27513,4219	0,00	27513,4219	27375,8548	27238,9755	27102,7806	26967,2667	26832,4304	26698,2683	26564,7769	26431,953	26299,7933	26168,2943	26037,4528
Precio	€/kWh	0,127304	0,00	0,127304	0,12985008	0,13244708	0,13509602	0,13779794	0,1405539	0,14336498	0,14623228	0,14915693	0,15214006	0,15518287	0,15828652
Ahorro P2	Euro			3502,56866	3554,75693	3607,72281	3661,47788	3716,0339	3771,40281	3827,59671	3884,6279	3942,50886	4001,25224	4060,8709	4121,37787
Periodo 3	kWh	18176,5215	0,00	18176,5215	18085,6389	17995,2107	17905,2346	17815,7085	17726,6299	17637,9968	17549,8068	17462,0578	17374,7475	17287,8737	17201,4344
Precio	€/kWh	0,107979	0,00	0,107979	0,11013858	0,11234135	0,11458818	0,11687994	0,11921754	0,12160189	0,12403393	0,12651461	0,1290449	0,1316258	0,13425831
Ahorro P3	Euro			1962,68262	1991,92659	2021,60629	2051,72823	2082,29898	2113,32523	2144,81378	2176,7715	2209,2054	2242,12256	2275,53018	2309,43558
Periodo 4	kWh	24914,4556	0,00	24914,4556	24789,8833	24665,9339	24542,6042	24419,8912	24297,7918	24176,3028	24055,4213	23935,1442	23815,4685	23696,3911	23577,9092
Precio	€/kWh	0,10008	0,00	0,10008	0,1020816	0,10412323	0,1062057	0,10832981	0,11049641	0,11270633	0,11496046	0,11725967	0,11960486	0,12199696	0,1244369
Ahorro P4	Euro			2493,43872	2530,59095	2568,29676	2606,56438	2645,40219	2684,81868	2724,82248	2765,42234	2806,62713	2848,44587	2890,88772	2933,96194
Periodo 5	kWh	48250,2827	0,00	48250,2827	48009,0313	47768,9861	47530,1412	47292,4905	47056,028	46820,7479	46586,6442	46353,7109	46121,9424	45891,3327	45661,876
Precio	€/kWh	0,084597	0,00	0,084597	0,08628894	0,08801472	0,08977501	0,09157051	0,09340192	0,09526996	0,09717536	0,09911887	0,10110125	0,10312327	0,10518574
Ahorro P5	Euro			4081,82917	4142,64842	4204,37388	4267,01905	4330,59764	4395,12354	4460,61088	4527,07398	4594,52739	4662,98584	4732,46433	4802,97805
Periodo 6	kWh	17908,6817	0,00	17908,6817	17819,1383	17730,0426	17641,3924	17553,1854	17465,4195	17378,0924	17291,2019	17204,7459	17118,7222	17033,1286	16947,9629
Precio	€/kWh	0,079251	0,00	0,079251	0,08083602	0,08245274	0,0841018	0,08578383	0,08749951	0,0892495	0,09103449	0,09285518	0,09471228	0,09660653	0,09853866
Ahorro P6	Euro			1419,28093	1440,42822	1461,8906	1483,67277	1505,77949	1528,21561	1550,98602	1574,09571	1597,54974	1621,35323	1645,51139	1670,02951
Resultado	Euro		0	19854,7625	20150,5985	20450,8424	20755,5599	21064,8178	21378,6836	21697,226	22020,5146	22348,6203	22681,6147	23019,5708	23362,5624
Gastos de mantenimiento	Euro		0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Inversión Total (CAPEX)	Euro	144.090,40 €													
Flujo de Caja (FC)	Euro		-144090,4	17854,7625	18150,5985	18450,8424	18755,5599	19064,8178	19378,6836	19697,226	20020,5146	20348,6203	20681,6147	21019,5708	21362,5624
Flujo de caja acumulado	Euro		-144090,4	-126235,64	-108085,04	-89634,2	-70878,64	-51813,823	-32435,139	-12737,913	7282,60162	27631,2219	48312,8367	69332,4075	90694,9699

Detalles técnicos			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Vida útil	Años	25	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
Inflación anual	%	2,0%													
Degradación de FV	%	0,50%													
Entradas															
Periodo 1	kWh	45760,3448	43088,9843	42873,5394	42659,1717	42445,8758	42233,6465	42022,4782	41812,3658	41603,304	41395,2875	41188,311	40982,3695	40777,4576	40573,5704
Precio	€/kWh	0,139749	0,17723552	0,18078023	0,18439584	0,18808375	0,19184543	0,19568234	0,19959598	0,2035879	0,20765966	0,21181286	0,21604911	0,2203701	0,2247775
Ahorro P1	Euro		7636,89865	7750,68844	7866,1737	7983,37969	8102,33204	8223,05679	8345,58034	8469,92949	8596,13143	8724,21379	8854,20458	8986,13223	9120,0256
Periodo 2	kWh	27513,4219	25907,2656	25777,7292	25648,8406	25520,5964	25392,9934	25266,0284	25139,6983	25013,9998	24888,9298	24764,4851	24640,6627	24517,4594	24394,8721
Precio	€/kWh	0,127304	0,16145225	0,1646813	0,16797492	0,17133442	0,17476111	0,17825633	0,18182146	0,18545789	0,18916705	0,19295039	0,1968094	0,20074558	0,2047605
Ahorro P2	Euro		4182,7864	4245,10992	4308,36206	4372,55665	4437,70775	4503,82959	4570,93665	4639,04361	4708,16536	4778,31702	4849,51395	4921,77171	4995,1061
Periodo 3	kWh	18176,5215	17115,4272	17029,8501	16944,7008	16859,9773	16775,6774	16691,799	16608,34	16525,2983	16442,6718	16360,4585	16278,6562	16197,2629	16116,2766
Precio	€/kWh	0,107979	0,13694348	0,13968235	0,1424276	0,14532552	0,14823203	0,15119667	0,1542206	0,15730501	0,16045111	0,16366014	0,16693334	0,17027201	0,17367745
Ahorro P3	Euro		2343,84617	2378,76948	2414,21315	2450,18492	2486,69268	2523,7444	2561,34819	2599,51228	2638,24501	2677,55486	2717,45043	2757,94044	2799,03375
Periodo 4	kWh	24914,4556	23460,0196	23342,7195	23226,0059	23109,8759	22994,3265	22879,3549	22764,9581	22651,1333	22537,8776	22425,1883	22313,0623	22201,497	22090,4895
Precio	€/kWh	0,10008	0,12692564	0,12946415	0,13205343	0,1346945	0,13738839	0,14013616	0,14293888	0,14579766	0,14871362	0,15168789	0,15472165	0,15781608	0,1609724
Ahorro P4	Euro		2977,67798	3022,04538	3067,07385	3112,77325	3159,15358	3206,22496	3253,99772	3302,48228	3351,68927	3401,62944	3452,31372	3503,75319	3555,95911
Periodo 5	kWh	48250,2827	45433,5666	45206,3988	44980,3668	44755,465	44531,6876	44309,0292	44087,4841	43867,0466	43647,7114	43429,4728	43212,3255	42996,2639	42781,2825
Precio	€/kWh	0,084597	0,10728945	0,10943524	0,11162394	0,11385642	0,11613355	0,11845622	0,12082535	0,12324185	0,12570669	0,12822083	0,13078524	0,13340095	0,13606897
Ahorro P5	Euro		4874,54243	4947,17311	5020,88599	5095,69719	5171,62308	5248,68026	5326,8856	5406,25619	5486,80941	5568,56287	5651,53445	5735,74232	5821,20488
Periodo 6	kWh	17908,6817	16863,2231	16778,907	16695,0125	16611,5374	16528,4797	16445,8373	16363,6081	16281,7901	16200,3812	16119,3792	16038,7824	15958,5884	15878,7955
Precio	€/kWh	0,079251	0,10050943	0,10251962	0,10457001	0,10666141	0,10879464	0,11097053	0,11318994	0,11545374	0,11776282	0,12011807	0,12252043	0,12497084	0,12747026
Ahorro P6	Euro		1694,91295	1720,16716	1745,79765	1771,81003	1798,21	1825,00333	1852,19588	1879,7936	1907,80252	1936,22878	1965,07859	1994,35826	2024,0742
Resultado	Euro		23710,6646	24063,9535	24422,5064	24786,4017	25155,7191	25530,5393	25910,9444	26297,0174	26688,843	27086,5068	27490,0957	27899,6981	28315,4036
Gastos de mantenimiento	Euro		2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Inversión Total (CAPEX)	Euro	144.090,40 €													
Flujo de Caja (FC)	Euro		21710,6646	22063,9535	22422,5064	22786,4017	23155,7191	23530,5393	23910,9444	24297,0174	24688,843	25086,5068	25490,0957	25899,6981	26315,4036
Flujo de caja acumulado	Euro		112405,634	134469,588	156892,094	179678,496	202834,215	226364,755	250275,699	274572,716	299261,559	324348,066	349838,162	375737,86	402053,264

UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INDUSTRIAL (ICAI)
GRADO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INDUSTRIAL (ICAI)
GRADO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

