



Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN UNA NAVE INDUSTRIAL DEL POLIGONO DE
MALPICA

English title:

PHOTOVOLTAIC INSTALLATION IN AN INDUSTRIAL FACILITY IN POLIGONO
MALPICA

Autor

Alejandro H. Gidoff Lorén

Director/es

José Francisco Sanz Osorio

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Año 2022

RESUMEN

La empresa Compresores JOSVAL, ha marcado como objetivos estratégicos consumir energía que proceda mayoritariamente de fuentes de energía renovable y aumentar la rentabilidad económica. Para lograr estos objetivos, se realiza un estudio de una instalación fotovoltaica sobre la superficie del tejado de la nave principal de la empresa situada en el polígono industrial Malpica, Zaragoza.

El estudio de la instalación tiene en cuenta el reglamento y normativa a la que está sujeta. Según la normativa actual, la instalación tiene que ser una instalación de modalidad con excedentes acogida a compensación, para ser así, la potencia total generada tiene que ser **menor de 100kW**.

Conociendo el máximo de placas fotovoltaicas instalables para cumplir con la normativa aplicable, se determina el número final de placas a instalar, analizando la rentabilidad de la instalación. En este análisis se incluye el número de inversores en función de las distintas posibilidades de conexión de las placas. El resultado es de instalar **80 placas fotovoltaicas de la marca Trina Solar** y de **2 inversores de la marca Fronius**, que genera un máximo de 40kW.

Los cables y el resto de los componentes electrónicos y eléctricos, se incluyen para poder tener un sistema que funcione de forma correcta. También se incluyen, las estructuras que se requieren para el anclaje de las placas solares tanto a la superficie inclinada como a la superficie plana del tejado de la nave industrial.

Tras el estudio realizado, se procede a realizar un presupuesto que permite conocer la inversión inicial por parte de la empresa, dando como resultado una inversión total de 38.460,83€. Este resultado, puede estar sujeto a una subvención del Gobierno de Aragón aportando un máximo del 40% del total de la inversión inicial.

Contando con una **vida útil de 25 años** de la instalación, se obtiene un **VAN de 81.315,31€€** y un **TIR de 19%**, sin contar con ayudas externas para la inversión y se **recuperara la inversión en 6 años**.

Conociendo la instalación más rentable, se procede a estudiar un sistema de baterías para comprobar si resulta ser más rentable. Este estudio se realiza a 15 años ya que es el límite de la vida útil de las baterías, resultando en que es más rentable no añadir este sistema de acumulación de la energía excedente.

ABSTRACT

The enterprise JOSVAL Compressors has set the strategic objectives of consuming energy that is originated mainly from renewable energy sources and increasing economic profitability. To achieve these objectives, a study is carried out of a photovoltaic installation on the surface of the roof of the company's main warehouse located in the Malpica industrial estate, Zaragoza.

The study of the installation takes into account the regulations and standards to which it is subject to adhere to. According to current regulations, the installation must be a surplus modality installation subject to compensation, to be so, the total power generated must be less than 100kW.

Knowing the maximum number of photovoltaic panels that can be installed in order to comply with the applicable regulations, the final number of panels to be installed is determined, analyzing the profitability of the installation. This analysis includes the number of inverters based on the different connection possibilities of the panels. The result is to install 80 Trina Solar brand photovoltaic panels and 2 Fronius brand inverters, which generate a maximum of 40kW.

The cables and the rest of the electronic and electrical components are included in order to have a system that works correctly. Also included are the structures required for anchoring the solar panels to both the inclined surface and the flat surface of the roof of the industrial facility.

Once finalized the study, a budget is prepared that allows to know the initial investment required by the company, resulting in a total investment of €38,460.83. This result may be subject to a maximum subsidy by the Government of Aragón, of 40% of the total initial investment.

With an expected service life of 25 years for the installation, a NPV of €81,315.31 and an IRR of 19% is obtained, without considering external aid for investment. The investment will be recovered in 6 years.

Knowing the most profitable installation, a battery system is studied to evaluate if it turns out to be more profitable. This study is carried out at 15 years since it is the limit of the service life of the batteries. The outcome is showing that it is more profitable not to add this surplus energy accumulation system.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi tutor, Don José Sanz, por el guiado y ayuda que me ha proporcionado durante estos meses para completar el TFG. También le agradezco por abrirme al mundo de las energías renovables, campo donde personalmente veo una posible dedicación en un futuro.

A la empresa **Compresores JOSVAL** por permitirme trabajar con los datos reales de consumo y de construcción de su nave industrial situada en Malpica, y por hacerme participar de su visión y experiencia sobre la viabilidad de los proyectos.

Agradezco tanto a los profesores, como a los compañeros del Grado de Ingeniería de Tecnologías Industriales que me han permitido alcanzar los conocimientos necesarios para afrontar este trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE GRÁFICAS	10
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
1. PREFACIO	12
1.1 OBJETIVO	12
1.2 ALCANCE	12
1.3 METODOLOGÍA	12
REQUERIMIENTOS PREVIOS	13
1.4 ABREVIATURAS	14
2. ENERGÍA PRIMARIA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA	15
2.1 ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA	15
2.2 ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA	17
2.2.1 TRANSPORTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU DISTRIBUCIÓN EN ESPAÑA	17
3. NORMATIVAS Y REGULACIONES PARA ESTA INSTALACIÓN	20
3.1 CONCLUSIÓN	23
4. ACERCA DE LA EMPRESA Y DONDE SE LOCALIZA LA NAVE INDUSTRIAL	24
5. CONSUMO ELÉCTRICO DE LA EMPRESA	25
6. TARIFA ELÉCTRICA ACTUAL Y OTRAS TARIFAS QUE OFRECE LA COMPETENCIA	28
7. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	31
7.1 ORIENTACIÓN DE LA NAVE INDUSTRIAL Y DE LAS PLACAS FOTOVOLTAICAS	31
7.1.1 ORIENTACIÓN DE LA NAVE INDUSTRIAL	33
7.1.2 ORIENTACIÓN DE LAS PLACAS SOLARES	33
7.2 DATOS DEL PVGIS	35
7.3 ELECCIÓN DE LOS MÓDULOS SOLARES	37
7.4 NÚMERO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS QUE PUEDE ALBERGAR LA SUPERFICIE DEL TEJADO DE LA NAVE INDUSTRIAL	39
7.5 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE MODALIDAD DE SUMINISTRO CON AUTOCONSUMO CON EXCEDENTES	42
7.5.1 VAN Y TIR	45
7.5.2 ELECCIÓN DE LOS INVERSORES	46
7.5.2.1 INSTALACIÓN ÓPTIMA	48
7.5.3 DISPOSICIÓN DE LAS PLACAS SOLARES EN EL TEJADO	51
7.5.3.1 ESTUDIO DE LOS STRINGS	52



7.5.4	ESTRUCTURA SOPORTE DE LAS PLACAS SOLARES	54
7.5.5	CABLEADO DE LA INSTALACIÓN DE LAS PLACAS SOLARES EN LOS STRINGS Y LOS INVERSORES.....	57
7.5.5.1.1	CÁLCULO DEL TRAMO DE CABLE DE CORRIENTE CONTINUA	60
7.5.5.1.2	CÁLCULO DEL TRAMO DE CABLE DE CORRIENTE ALTERNA.....	62
7.5.6	PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	64
7.5.7	RESULTADOS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE MODALIDAD DE AUTOCONSUMO CON EXCEDENTES	66
7.5.7.1	AYUDAS DE LA DELEGACIÓN GENERAL DE ARAGÓN	67
7.5.8	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	68
8.	INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE BATERÍAS ADICIONAL A LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	71
8.1	REALIZACIÓN DEL EXCEL PARA OBTENER EL VAN Y EL TIR	73
8.2	ELECCIÓN DE LA MARCA Y LA BATERÍA A UTILIZAR.....	75
8.3	CANTIDAD ÓPTIMA DE BATERÍAS PARA LA INSTALACIÓN	76
8.4	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO COMPLETO	77
8.4.1	ELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ELECTRÓNICOS.....	79
8.5	VAN Y TIR DE 5 Y 10 BATERÍAS.....	82
8.6	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	83
9	CONCLUSIÓN DEL TRABAJO	86
	BIBLIOGRAFÍA	87
	ANEXOS	91
	ANEXO 1: DIFERENTES TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y SU PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	92
	ANEXO 2: RESULTADOS DEL VAN Y DEL TIR.....	102
	ANEXO 3: PARTES ELECTRÓNICAS Y ELÉCTRICAS DE LA INSTALACIÓN	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama Sankey del sector energético español año 2020. Fuente: [1]	16
Figura 2 Gráfica de la distribución porcentual de la generación de energía eléctrica en España en 2021. Fuente: [3].....	17
Figura 3 Representación de la red de transmisión de la energía eléctrica en España. Fuente: [4].....	18
Figura 4 Producción y consumo eléctrico en España. Fuente: [5].....	18
Figura 5 Pérdidas de transporte en el sistema eléctrico peninsular. Fuente: [5]	19
Figura 6 Fachada de la nave industrial de Compresores JOSVAL. Realización propia a partir de la Fuente: [27]	24
Figura 7 Representación de las diferentes periodos activos actualmente y sus precios por horas. Fuente [33]	28
Figura 8 Representación de los diferentes periodos activos actualmente y sus precios por horas. Fuente: [34]	28
Figura 9 Diferentes disposiciones de las placas fotovoltaicas dependiendo de la superficie de apoyo. Fuente: [6]	31
Figura 10 Imagen lateral de la nave industrial de Compresores JOSVAL Fuente: [27]	31
Figura 11 Imagen de la zona de oficinas de la nave industrial. Fuente: [27]	32
Figura 12 Imagen de la fábrica de la nave industrial. Fuente: [27].....	32
Figura 13 Imagen de la superficie del tejado de la nave industrial. Fuente: [27]	33
Figura 14 Disposición de placas solares sobre la superficie.....	34
Figura 15 Datos introducidos en el PVGIS.....	35
Figura 16 Datos obtenidos en el PVGIS.....	36
Figura 17 Temperatura durante el año 2020 en la localización de la nave industrial.....	36
Figura 18 Dimensiones de la placa fotovoltaica. Fuente: [].....	39
Figura 19 Representación de las dimensiones de las diferentes superficies del tenado de la nave industrial. Realización a partir de la Fuente: [27]	40
Figura 20 Dimensiones a tener en cuenta para el cálculo del sombreado Fuente: [32]	41
Figura 21 Dimensiones importantes para el cálculo del sombreado y las incógnitas que se quieren conocer. Realización a partir de la Fuente: [27]	41
Figura 22 Distancia entre las diferentes superficies del tejado. Fuente: [27]	42
Figura 23 Conexión por partes y conexión por strings.....	51
Figura 24 Conexión de los paneles en strings de 19 módulos y de 20 módulos al inversor.	53
Figura 25 Disposición de las placas sobre la superficie del tejado. Realizado a partir de la Fuente: [27]	54
Figura 26 Dimensiones de la placa fotovoltaica. Fuente: [28]	55
Figura 27 Ejemplos de configuración de la estructura soporte. Fuente: [52]	56
Figura 28 Estructura soporte 02VPS1 y 02VPS2, sistema PS para módulos gran formato primario. Fuente: [52], [53].....	56
Figura 29 Estructura soporte Solarbloc 27º para 4 módulos. Fuente: [54]	57
Figura 30 Disposición de las placas sobre la superficie del tejado. Realizado a partir de la Fuente: [27]	57
Figura 31 Perfil de la superficie del tejado con las medidas. Realizado a partir de la Fuente: [27]	58
Figura 32 Medidas de los strings hasta los inversores. Fuente: [27]	59
Figura 33 Superficie del tejado con las medidas del cable. Fuente: [27]	63
Figura 34 Esquema del armario de los inversores y los sistemas de protección.....	65
Figura 35 Porcentaje de ayuda sobre el total de la inversión en energías verdes de empresas grandes, medianas y pequeñas. Fuente: [67]	67
Figura 36 Tecnologías de baterías. Figura: [44]	71
Figura 37 Comparativa de los precios de las diferentes tecnologías de las baterías desde el año 2016 hasta el año 2030. Fuente: [45]	72

Figura 38 US2000C. Fuente: [44]	75
Figura 39 US3000C. Fuente: [44]	75
Figura 40 Comparativo Nº baterías vs VAN y TIR (2,4kWh)	76
Figura 41 Comparativo Nº baterías vs VAN y TIR (3,5kWh)	76
Figura 42 Configuración para una instalación de paneles fotovoltaicos con acumuladores de energía (AC coupling)	78
Figura 43 Configuración para una instalación de paneles fotovoltaicos con acumuladores de energía (ESS parallel).....	78
Figura 44 Información técnica de los inversores Multiplus II 48/5000/70-50 y Multiplus II 48/3000/35. Fuente: [57].....	79
Figura 45 Inversor cargador Multiplus II-Victron. Fuente: [57]	79
Figura 46 Precio e ilustración del Monitor Color Control GX Victron. Fuente: [48]	80
Figura 47 Kit Medidor Analizador de Consumo. Fuente: [50]	80
Figura 48 Armario Rack 5 uds US3000 Pylontech. Fuente: [51].....	82
Figura 49 Esquema de la transformación de la energía solar que proviene del sol. Fuente:[8].....	92
Figura 50 Gráfico que compara la energía de la radiación según la longitud de onda. Fuente: [6].....	93
Figura 51 Diferentes ángulos que permiten conocer la posición de la placa solar respecto a la Tierra y al Sol. Fuente: [9]	94
Figura 52 Evolución de los precios por kW de los paneles solares (2010-2018). Fuente: [11]	95
Figura 53 Reducción de los costos de las distintas tecnologías renovables (2010-2019). Fuente: [12].....	95
Figura 54 Evolución del valor del kW de energía fotovoltaica en diferentes países, donde se resalta España. Fuente: [12]	96
Figura 55 Bandas energéticas y los gaps energéticos de un átomo conductor, un semiconductor y un aislante. Fuente: [14].....	97
Figura 56 Representación del movimiento de los electrones en una célula solar en circuito abierto y en cortocircuito. Fuente: [15].....	98
Figura 57 Esquema representativo de una célula fotovoltaica. Fuente: [18]	98
Figura 58 Detalles constructivos de una placa fotovoltaica. Fuente: [17]	99
Figura 59 Representación del voltaje y la corriente con una conexión en paralelo de las células fotovoltaicas. Fuente: [6].....	100
Figura 60 Representación del voltaje y la corriente con una conexión en serie de las células fotovoltaicas. Fuente: [6]	100
Figura 61 Precios de los inversores/cargadores.....	104
Figura 62 Precio del Medidor Analizador de Consumo.	104
Figura 63 Armario Rack.	104
Figura 64 Monitor color Control GX Victron.	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Abreviaturas/Siglas.....	14
Tabla 2 Consumo mensuales y consumo anual total en kWh.....	25
Tabla 3 Valor del Término de potencia y Término de energía de diferentes comercializadoras de energía para PYMES. Fuente: [33]	30
Tabla 4 Potencia contratada. Fuente: [33]	30
Tabla 5 Tarifas y Costes de las compañías eléctricas.....	30
Tabla 6 Producción eléctrica media en kWh de las tres opciones de ángulos.....	34
Tabla 7 Datos de las placas fotovoltaicas. Fuente: [28][29][30][31]	37
Tabla 8 Comparación de las placas fotovoltaicas.....	38
Tabla 9 Numero de placas solares por cada una de las superficies.....	40
Tabla 10 Excel del cálculo de la rentabilidad de la instalación fotovoltaica.	44
Tabla 11 Explicación obtención de los flujos de caja.....	45
Tabla 12 Información técnica de los inversores Fronius de 15, 17,5 y 20kW. Fuente: [39].....	47
Tabla 13 Precios de los inversores. Fuente: [39].....	47
Tabla 14 Estructuras y sus precios. Fuente: [52], [53].....	56
Tabla 15 Estructuras necesarias y su precio.....	57
Tabla 16 Longitud de los cables del inversor.....	59
Tabla 17 Conductividad del cobre y del aluminio a distintas temperaturas	60
Tabla 18 Factor de corrección debido a diferentes características de los cables. Fuente: [65]	60
Tabla 19 Corriente máxima por cada una de las secciones de los cables. Fuente: [65]	61
Tabla 20 Resumen cables de la instalación.....	61
Tabla 21 Secciones de los cables con sus diferentes recubrimientos. Fuente: [65].....	62
Tabla 22 Presupuesto Instalación fotovoltaica de modalidad de autoconsumo con excedentes.....	65
<i>Tabla 23 Tasa de descuento, VAN y TIR e Impuesto sobre sociedades.....</i>	67
Tabla 24 Presupuesto total para ayudas a las empresas por cada una de las comunidades autónomas. Fuente: [67].....	68
Tabla 25 Ayudas económicas de la DGA.....	69
Tabla 26 Aumento de la inversión inicial.	69
Tabla 27 Aumento de la inflación.....	70
<i>Tabla 28 Explicación con un ejemplo de cómo funciona el EXCEL para el cálculo del almacenamiento de las baterías y su cálculo económico.....</i>	74
Tabla 29 Comparativa US2000C vs US3000C. Fuente: [44][44]	75
Tabla 30 Variación del €/MWh desde 1998 hasta la actualidad. Fuente: [83].....	77
Tabla 31 Presupuesto elementos eléctricos y electrónicos de las baterías.....	81
Tabla 32 Presupuesto de las baterías.....	82
Tabla 33 Resultados del VAN, TIR y años de amortización de 5 y 10 baterías.	82
Tabla 34 VAN y TIR del análisis de sensibilidad de 5 baterías.	84
Tabla 35 VAN y TIR del análisis de sensibilidad de 5 baterías.	85
Tabla 36 Flujos de caja año 1-12 (2 inversores de 20kW y 80 placas fotovoltaicas).....	102
Tabla 37Flujos de caja año 13-25 (2 inversores de 20kW y 80 placas fotovoltaicas).	102
Tabla 38 Flujos de caja durante 15 años para 5 baterías.....	103
Tabla 39 Flujos de caja durante 15 años para 10 baterías.	103

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Variación de consumos mensuales en kWh	25
Gráfica 2 Ejemplo consumo lunes 10/01/2022	26
Gráfica 3 Ejemplo consumo martes 11/01/2022	26
Gráfica 4 Ejemplo consumo miércoles 12/01/2022	26
Gráfica 5 Ejemplo consumo jueves 13/01/2022	26
Gráfica 6 Ejemplo consumo viernes 14/01/2022	26
Gráfica 7 Ejemplo consumo sábado 15/01/2022	26
Gráfica 8 Consumo día 1/01/2022	27
Gráfica 9 Producción eléctrica media en kWh de las tres opciones de ángulos.	34
Gráfica 10 Irradiancia total durante el 1/01/2020	36
Gráfica 11 Irradiancia total durante el 1/08/2020	36
Gráfica 12 VAN y TIR para inversores 20kW	48
Gráfica 13 VAN y TIR para inversores 17,5kW	49
Gráfica 14 VAN y TIR para inversores 15kW	49
Gráfica 15 Comparativo del VAN	50
Gráfica 16 Comparativo del TIR	50
Gráfica 17 Consumo vs Producido 1/7 del año 1	66
Gráfica 18 Consumo vs Producido 1/7 del años 12	66
Gráfica 19 Consumo vs Producido 1/7 del años 25	66
Gráfica 20 Ayudas económicas de la DGA	69
Gráfica 21 Aumento de la inversión inicial	69
Gráfica 22 Aumento del precio de la electricidad	70
Gráfica 23 Aumento del precio de la electricidad	70
Gráfica 24 Aumento de la inflación	70
Gráfica 25 8/06 del año 1, 5 baterías	83
Gráfica 26 8/06 del año 15, 5 baterías	83
Gráfica 27 8/06 del año 1, 10 baterías	83
Gráfica 28 8/06 del año 15, 10 baterías	83
Gráfica 29 Aumento inversión inicial 5 baterías	84
Gráfica 30 Aumento de la inflación 5 baterías	84
Gráfica 31 Aumento del precio de la luz 5 baterías	84
Gráfica 32 Aumento de la ayuda económica 5 baterías	84
Gráfica 33 Aumento inversión inicial 10 baterías	85
Gráfica 34 Aumento de la inflación 10 baterías	85
Gráfica 35 Aumento del precio de la luz 10 baterías	85
Gráfica 36 Aumento de la ayuda económica 10 baterías	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	37
Ecuación 2	38
Ecuación 3	41
Ecuación 4	42
Ecuación 5	42
Ecuación 6	42
Ecuación 7	43
Ecuación 8	43
Ecuación 9	43
Ecuación 10	43
Ecuación 11	44
Ecuación 12	45
Ecuación 13	45
Ecuación 14	46
Ecuación 15	52
Ecuación 16	52
Ecuación 17	52
Ecuación 18	53
Ecuación 19	59
Ecuación 20	60
Ecuación 21	60
Ecuación 22	61
Ecuación 23	61
Ecuación 24	62
Ecuación 25	62
Ecuación 26	62
Ecuación 27	63
Ecuación 28	63
Ecuación 29	63
Ecuación 30	63
Ecuación 31	63
Ecuación 32	73
Ecuación 33	73

1. PREFACIO

1.1 OBJETIVO

Este trabajo de fin de grado, del Grado de Ingeniería de Tecnologías Industriales, tiene como objetivo el diseño de una instalación fotovoltaica en la superficie del tejado de la nave industrial de la empresa Compresores JOSVAL. Esta nave está situada en el polígono industrial Malpica (Zaragoza).

La instalación tendrá la modalidad de autoconsumo con excedentes, por ello, no debe superar los 100kW de potencia. De esta forma, se reduce el coste económico de la energía consumida por la empresa y se obtiene un sistema que sea energéticamente renovable.

Se presentará un presupuesto, donde aparecerán todos los componentes con sus correspondientes costes. A la suma total del presupuesto, se le aplica las ayudas disponibles de la DGA. La conclusión esta presentada en una tabla con los flujos de caja anuales, así como el VAN y el TIR final para los 25 años de vida útil de la instalación. Se calcula el plazo de amortización de la instalación fotovoltaica.

1.2 ALCANCE

El alcance del proyecto se estructura según la siguiente manera:

- Explicación de la situación energética, y estudio del sector de la energía eléctrica en España.
- Localización de la empresa y descripción de su actividad.
- Análisis de su consumo y búsqueda de una tarifa eléctrica que permita un ahorro económico.
- Diseño de la instalación fotovoltaica y estudio de la rentabilidad.
- Estudio de la instalación de un sistema de almacenamiento energético y estudio de la rentabilidad.
- Conclusión final, presupuesto total con o sin ayudas estatales y tiempo de amortización.

1.3 METODOLOGÍA

Para realizar la instalación fotovoltaica, en primer lugar, se necesita conocer los consumos energéticos que tiene la empresa. Los consumos energéticos se obtienen mediante el portal del cliente de la suministradora energética Endesa. Se tomarán los consumos de la empresa por cada hora durante un año entero, desde mayo del año 2021 hasta abril del año 2022. Esto permitirá tener un conocimiento exacto del momento del día en el que la empresa consume más, además de la época del año en la que se requiere una cantidad mayor de energía eléctrica.

Estos consumos eléctricos se introducirán en una tabla de Excel para así comparar diferentes tarifas que ofrecen las compañías eléctricas a las PYMES. Esta comparación se realiza conociendo las diferentes condiciones de cada una y aplicándolo a los consumos de la empresa.

Conocer la tarifa que se va a utilizar en la empresa, permitirá transformar los valores energéticos que se obtendrán en la instalación a valores económicos, para así obtener los flujos de caja anuales de la instalación. A su vez los flujos de caja darán lugar al VAN y al TIR, siendo estos dos valores la base del trabajo, ya que se compararán diferentes combinaciones de productos para obtener la instalación más rentable de todas.

El diseño de la instalación fotovoltaica tendrá que atenerse a la normativa actual y a la modalidad que mejor convenga a las características y objetivos de la empresa. La modalidad que se instalará es la instalación de autoconsumo con excedentes acogida a compensación. Esta modalidad permite la venta a la empresa suministradora de energía, el excedente de energía producida por las placas solares, pero para ello la instalación no puede superar 100kW de potencia.

Conociendo las restricciones se comienza con el diseño de la instalación. Para la elección de los tipos de productos, se comienza a evaluar diferentes placas fotovoltaicas existentes del mercado. Se elige la placa solar que tenga la mayor rentabilidad, con mejores prestaciones y con una mayor garantía. Teniendo las placas solares definidas y conociendo las características de las mismas y, la cantidad de inversores y sus características técnicas, se calcula el número máximo de placas que se puede instalar. El resultado se obtiene mediante la tabla Excel donde aparecen los consumos de la empresa, la tarifa de la suministradora eléctrica y el cálculo de la energía por horas que generará el grupo de placas solares.

La rentabilidad se obtiene mediante el flujo de caja anual, y teniendo en cuenta la inversión inicial de las placas solares y los inversores. Cuando se obtiene la cantidad de placas solares e inversores que se instalarán, se completa el presupuesto con el resto de elementos como cables, elementos de seguridad, etc.

Conociendo la instalación fotovoltaica, se estudia la rentabilidad que tiene la instalación de baterías de litio para almacenar el excedente de energía eléctrica que genera la instalación, respecto a una sin ellas. Se realiza con la misma tabla de Excel que el anterior apartado, pero se le añade una columna en el EXCEL, en la que se incluye la cantidad de energía almacenada, que varía dependiendo si se almacena el excedente o se consume esa energía almacenada. Conociendo la cantidad de baterías, se completa la instalación con el resto de elementos eléctricos y electrónicos que permiten el funcionamiento del sistema.

Por último, se presenta la conclusión con la rentabilidad y la inversión inicial requerida, junto a los detalles de la instalación escogida.

REQUERIMIENTOS PREVIOS

- Datos de consumo por horas del portal del cliente de ENDESA
- PVGIS, valores de la irradiancia por horas
- Herramienta de EXCEL, Microsoft (donde se obtienen gráficas, tablas, valores, ...)
- Google Maps para encontrar la localización exacta de la nave industrial
- Herramienta de recorte
- Microsoft Word
- Páginas web de internet para buscar la información necesaria

1.4 ABREVIATURAS

Abreviaturas/Siglas	Descripción/Significado
BOE	Boletín Oficial del Estado
CC/CA	Corriente Continua/Corriente Alterna
DGA	Diputación General de Aragón
DoD	Deep of Discharge / Grado de Agotamiento de Batería
ESC	Energía Solar de Concentración
EEUU	Estados Unidos
FV	Foto Voltaico
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IRENA	International Renewal Energy Agency / Agencia Internacional de Energía Renovable
ITC	Instrucciones Técnicas Complementarias
IVA	Impuesto de Valor Añadido
MPP	Maximum Power Point / Punto Máximo de Potencia
MPPT	Maximum Power Point Tracker / Seguidor de Punto Máximo de Potencia
NBE	Norma Básica de Edificación
P.E.	Por Ejemplo
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System / Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica
PYMES	Pequeñas y Medianas Empresas
REE	Red Eléctrica Española
STC	Standard Test Condition / Condición Estándar de Prueba
TAE	Tasa Anual Equivalente
TFG	Trabajo de Fin de Grado
TIR	Tasa Interna de Retorno
TONC	Temperatura de Operación Nominal de la Célula
Ud.	Unidad
UE	Unión Europea
UNE	Una Norma Española
USB	Universal Serial Bus
VAN	Valor Actual Neto
XLPE	Polietileno Reticulado

Tabla 1 Abreviaturas/Siglas

2. ENERGÍA PRIMARIA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA

2.1 ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA

La alta proporción de energía que se produce a partir de los combustibles fósiles y la característica geológica de España, obliga a la importación de casi el total de esta fuente energética (aprox. 93%, según Ilustración 1). En esta ilustración se observan todas las fuentes de energía primaria consumidas en España, pudiendo distinguir aquellas que son importadas de las de producción nacional, se observa así mismo el uso que se hace de ellas.

Esto hace que España tenga una dependencia elevada de terceros países. De esta forma, el abastecimiento y los precios de la energía dependen de la producción de terceros países. Es decir, en situaciones de tensión con estos países productores o inestabilidad global, puede aumentar la incertidumbre, produciendo un aumento del precio y afectando directamente a los consumidores y la economía nacional. Esto se puede observar en la actualidad con el conflicto que se está produciendo con Rusia, produciendo una incertidumbre que afecta a los precios y al abastecimiento, sobre todo del gas natural.

Adicionalmente, el suministro de energía de estos terceros países puede verse afectados por tensiones en la relación diplomática, dejando a España en una situación débil. Un ejemplo de tensión diplomática reciente, son las relaciones con Marruecos y Argelia, siendo el primer país por el que históricamente pasaba el gaseoducto procedente de Argelia, y el segundo el que tiene las reservas del combustible.

Otro problema relacionado con el elevado consumo de combustibles fósiles, es el aumento del denominado efecto invernadero. El efecto invernadero controlado, es beneficioso para toda la vida en la tierra porque mantiene una temperatura idónea que permite la existencia de la vida. Pero se debe mantener a unos niveles constantes, porque si aumenta produce desajustes que dan lugar a peligros para la vida y la subsistencia de todos los seres vivos, incluso para la vida humana. [7] Las principales consecuencias de este aumento de la temperatura y el cambio climático son:

- Deshielo de masas glaciares
- Inundaciones de islas y ciudades costeras
- Huracanes más devastadores
- Migraciones de especies
- Desertificación de zonas fértiles
- Impacto en la agricultura y la ganadería

TFG INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN UNA NAVE INDUSTRIAL DEL POLÍGONO DE MALPICA

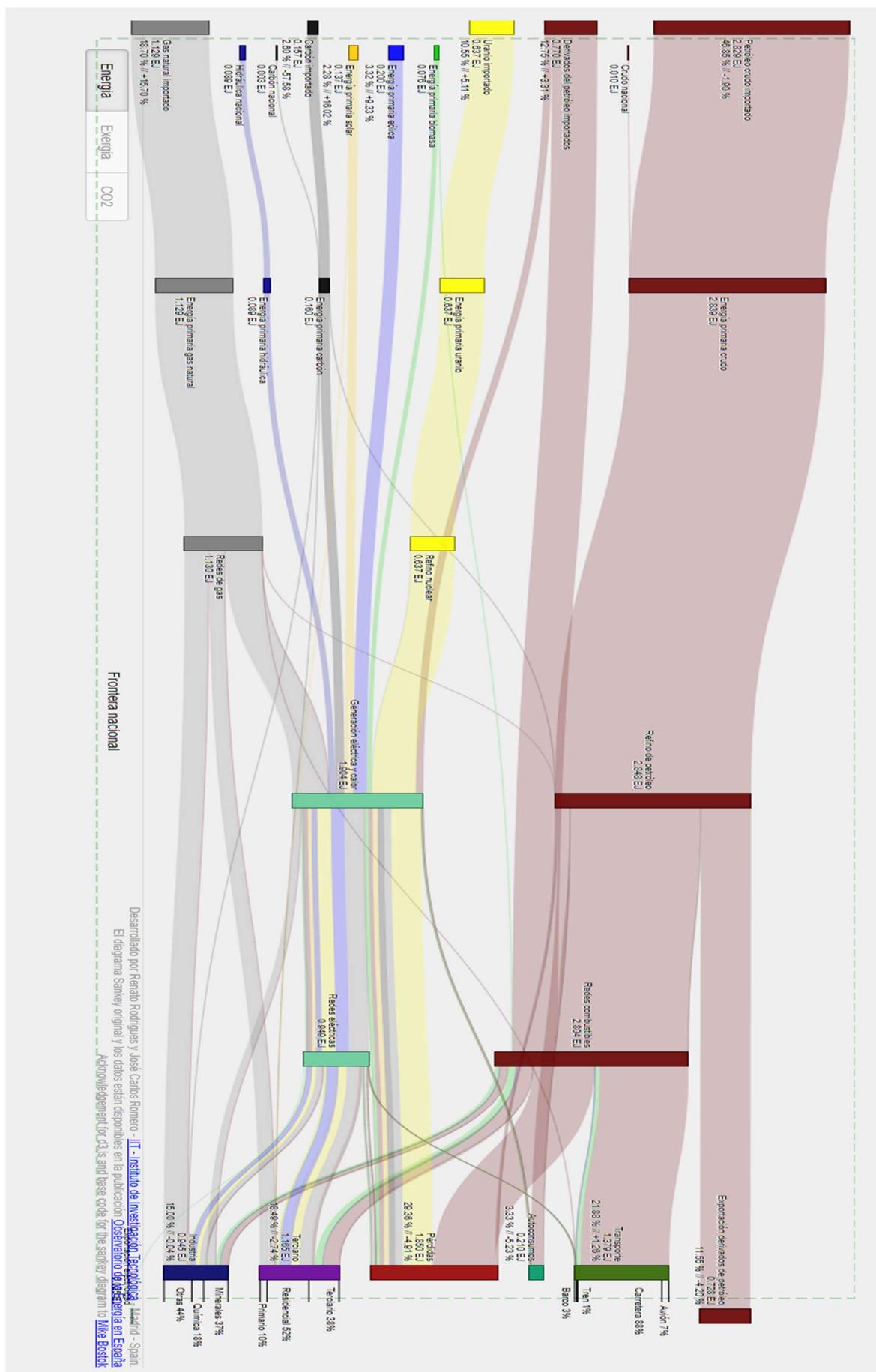


Figura 1 Diagrama Sankey del sector energético español año 2020. Fuente: [1]

2.2 ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA

La realidad de la generación de energía eléctrica en España, está representada en la Ilustración 3, donde se observa las fuentes de la energía eléctrica producida durante el año 2021. El 44,6% de la energía total producida procede de fuentes renovables (no se ha incluido la energía nuclear ni la energía procedente del gas natural como renovable, ya que la UE la define como verde pero no renovable [68]).

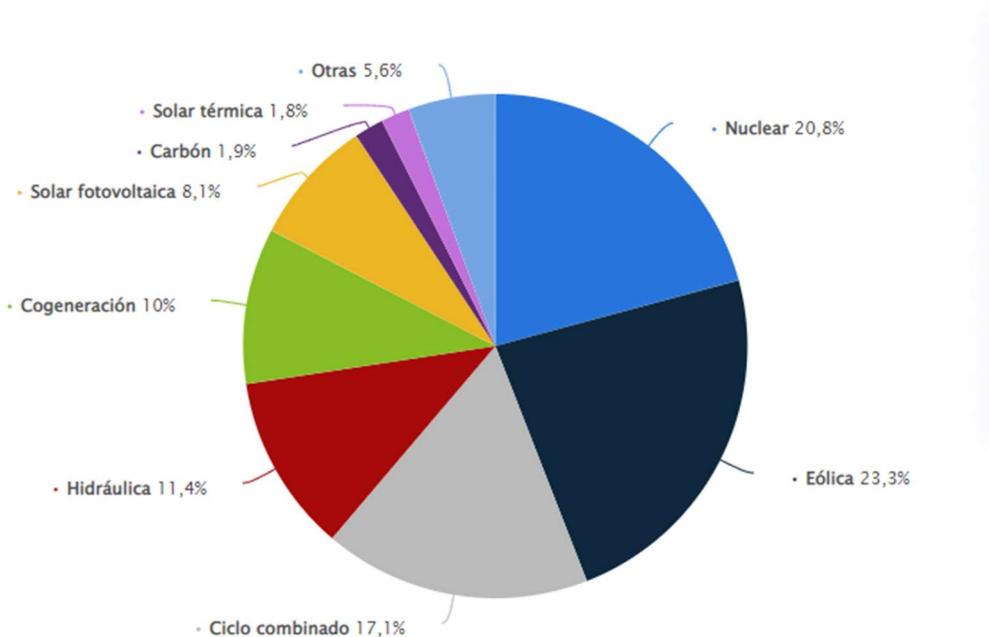


Figura 2 Gráfica de la distribución porcentual de la generación de energía eléctrica en España en 2021. Fuente: [3]

Por eso, el objetivo de este proyecto, es conseguir que la energía eléctrica consumida por la empresa Compresores JOSVAL, tenga un porcentaje mayor de energía de procedencia renovable. En este caso, se apostará por una producción compuesta de paneles fotovoltaicos.

De esta manera, se consigue cumplir con algunos de los objetivos que propone el PNIEC, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (2021-2030), que persigue una reducción de un 23% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto al año 1990. Este objetivo es coherente con la Agenda 2030 y así como con el Acuerdo de París.

El plan 2050 del Gobierno de España y los objetivos a largo plazo de la UE, tienen como uno de los objetivos que la sociedad sea neutra en carbono, sostenible y resiliente al cambio climático. El proyecto realizado, no cumple la neutralidad de carbono, pero se acerca al objetivo mediante un consumo mayor de energías renovables respecto a la energía procedente de fuentes fósiles.

2.2.1 TRANSPORTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU DISTRIBUCIÓN EN ESPAÑA

A parte de la producción de la energía, también hay que tener en cuenta el transporte de la misma a los centros/lugares de consumo y sus costes relacionados. Debido a que las centrales de producción, centrales nucleares, centrales térmicas e incluso los centros de generación de energía renovable, se encuentran lejos de los centros/lugares de consumo, aumentando el precio de la energía debido al transporte de la energía.

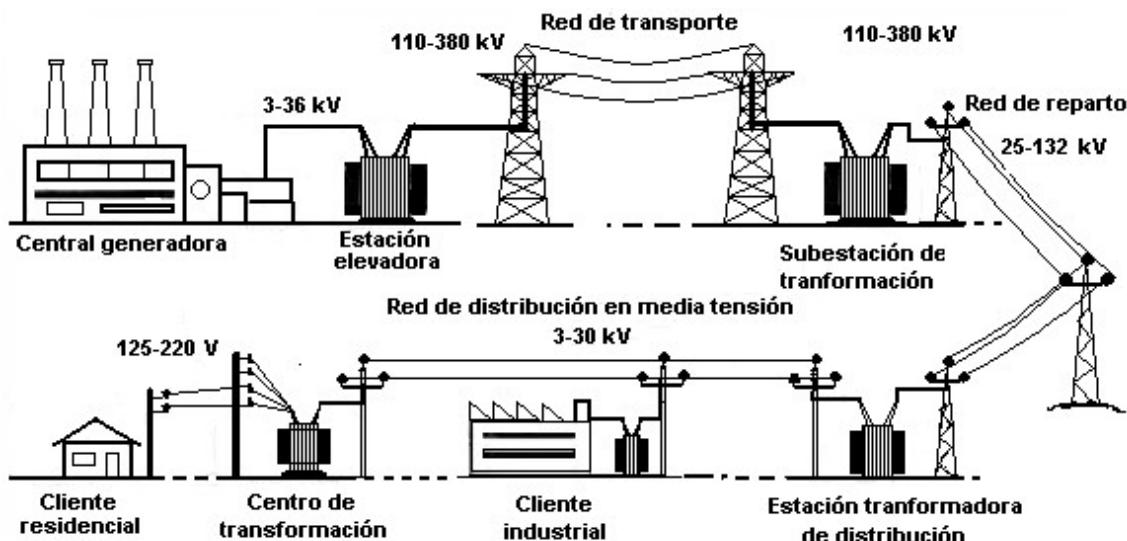


Figura 3 Representación de la red de transmisión de la energía eléctrica en España. Fuente: [4]

Para el transporte de la energía eléctrica desde las centrales generadoras hasta los consumidores, existen tres tipos de red eléctrica distintas, la red de transporte, la cual recorre grandes distancias y tiene un voltaje alto (110-380kV). La red de reparto que recorre distancias menores desde la subestación de transformación hasta la estación transformadora de distribución con un voltaje de 25-132kV. Por último, la red de distribución en media tensión y baja tensión, donde el voltaje depende de la demanda de los clientes.

La Ilustración 6, muestra la diferencia geográfica de los principales consumidores y generadores en España. Siendo el norte de España un gran generador de energía eléctrica, especialmente en la zona de Galicia y Asturias. En cambio, la zona geográfica donde se produce el mayor consumo energético es en Madrid y Cataluña, y en menor medida en la zona de Valencia y el País Vasco.

Producción y consumo eléctrico en España

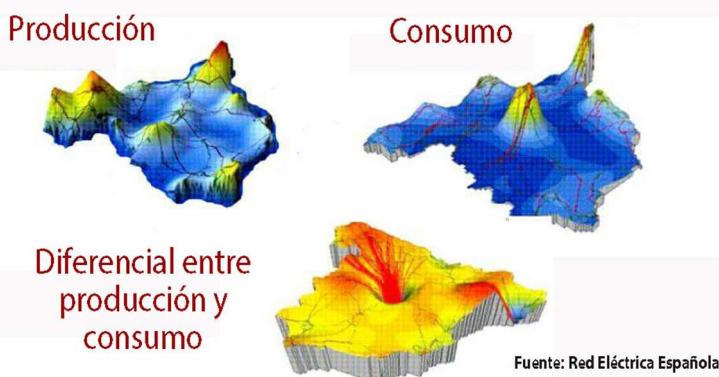


Figura 4 Producción y consumo eléctrico en España. Fuente: [5]

Esta diferencia entre las zonas de producción y consumo eléctrico, produce un desajuste entre el lugar de producción y el lugar de consumo, originando la necesidad de transportar dicha energía a lo largo del territorio nacional. En la Ilustración 5 se representan las

pérdidas de la red de transporte durante entre agosto 2021 hasta agosto 2022. Como se observa en la Ilustración 5, las perdidas van del 1,4% al 2,0% de la energía total que se distribuye.

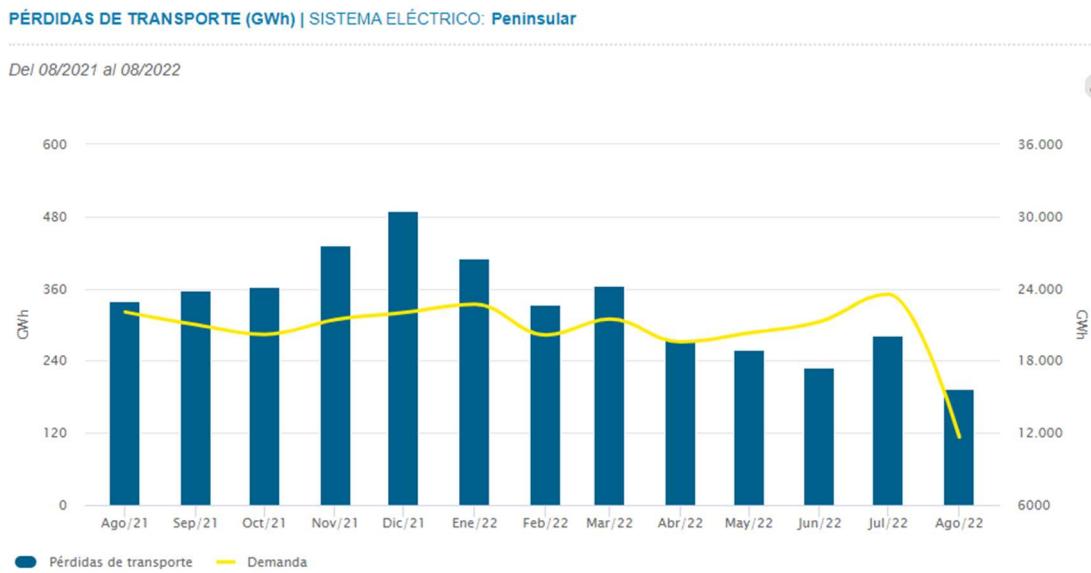


Figura 5 Pérdidas de transporte en el sistema eléctrico peninsular. Fuente: [5]

3. NORMATIVAS Y REGULACIONES PARA ESTA INSTALACIÓN

[20,21] El Real Decreto 244/2019 por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica regula las modalidades de autoconsumo de energía eléctrica definidas en el artículo 9 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.

Las instalaciones de autoconsumo deberán pertenecer a una de las siguientes modalidades:

- Autoconsumo SIN excedentes
- Autoconsumo CON excedentes

Instalaciones que, además de suministrar energía eléctrica para autoconsumo, pueden inyectar energía excedentaria en las redes de transporte y distribución. A este grupo pertenecerán las instalaciones de producción próximas y asociadas a las de consumo (tanto en red interior como las que utilicen la red de distribución o transporte).

- Autoconsumo CON excedentes ACOGIDA A COMPENSACIÓN (<100 kW)
- Autoconsumo CON excedentes NO ACOGIDA A COMPENSACIÓN

Normativas de aplicación de ámbito estatal

- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico (texto consolidado). BOE nº 310 de 27 de diciembre de 2013.
- Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre propiedad horizontal (texto consolidado). BOE nº 177 de 23 de julio de 1970.
- Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. BOE nº 242 de 6 de octubre de 2018.
- Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. BOE nº 423 de 10 de octubre de 2015.
- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. BOE nº 83 de 6 de abril de 2019.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (texto consolidado). BOE nº 310 de 27 de diciembre de 2000.
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. BOE nº 3295 de 8 de diciembre de 2011.
- Real Decreto 1048/2013, de 27 de diciembre, por el que se establece la metodología para el cálculo de la retribución de la actividad de distribución de energía eléctrica. BOE nº 312 de 30 de diciembre de 2013.

- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión (texto consolidado). BOE nº 224 de 18 de septiembre de 2002. 021 116 9. Normativa de ámbito estatal.
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. BOE nº 139 de 9 de junio de 2014.
- Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico (texto consolidado). BOE nº 224 de 18 de septiembre de 2007.
- Real Decreto 647/2020, de 7 de julio, por el que se regulan aspectos necesarios para la implementación de los códigos de red de conexión de determinadas instalaciones eléctricas. BOE nº 187, de 08 de julio de 2020.
- Real Decreto Legislativo 2/2004 de 5 de marzo por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales. BOE nº 59 de 9 de marzo de 2004.

Para conocer cuál es el máximo número de placas solares que se permiten en la instalación, como ya se ha explicado antes, hay que tener en cuenta la normativa acerca del autoconsumo. Esta normativa está recogida en «BOE» núm. 83, de 6 de abril de 2019, páginas 35674 a 35719.

El contenido de la ley del 2019, de 6 de abril, complementa la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, la cual recoge que la instalación de generación tiene que cumplir tres requisitos:

- i. Tengan una potencia no superior a 100kW.
- ii. Estén asociadas a modalidades de suministro con autoconsumo.
- iii. Puedan inyectar energía excedentaria en las redes de transporte y distribución.

Por ello, esta instalación no puede superar los 100 kW de potencia.

Otra restricción es la de que está asociada a la modalidad de suministro con autoconsumo, esto según el artículo 9.1 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre. Se entenderá por autoconsumo, el consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica proveniente de instalaciones de producción próximas a las de consumo y asociadas a los mismos. Término que la instalación de la nave industrial cumple, debido a que se sitúa dicha producción en el tejado del mismo lugar donde se consume esta energía.

En el artículo 4 de la ley núm. 83, de 6 de abril de 2019, se establece la clasificación de las modalidades de autoconsumo, en la cual se encuentran dos tipos de autoconsumo con y sin excedentes.

- a) Modalidad de suministro con autoconsumo sin excedentes. Corresponde a las modalidades definidas en el artículo 9.1.a) de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre. En estas modalidades se deberá instalar un mecanismo anti vertido que impida la inyección de energía excedentaria a la red de transporte o de distribución. En este caso existirá un único tipo de sujeto de los previstos en el artículo 6 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, que será el sujeto consumidor.



b) Modalidad de suministro con autoconsumo con excedentes. Corresponde a las modalidades definidas en el artículo 9.1.b) de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre. En estas modalidades las instalaciones de producción próximas y asociadas a las de consumo podrán, además de suministrar energía para autoconsumo, inyectar energía excedentaria en las redes de transporte y distribución. En estos casos existirán dos tipos de sujetos de los previstos en el artículo 6 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, que serán el sujeto consumidor y el productor.

b.1) Modalidad con excedentes acogida a compensación. Pertenecerán a esta modalidad, aquellos casos de suministro con autoconsumo con excedentes en los que voluntariamente el consumidor y el productor opten por acogerse a un mecanismo de compensación de excedentes. Esta opción solo será posible en aquellos casos en los que se cumpla con todas las condiciones que seguidamente se recogen:

- i. La fuente de energía primaria sea de origen renovable.
- ii. La potencia total de las instalaciones de producción asociadas no sea superior a 100kW.
- iii. Si resultase necesario realizar un contrato de suministro para servicios auxiliares de producción, el consumidor haya suscrito un único contrato de suministro para el consumo asociado y para los consumos auxiliares de producción con una empresa comercializadora, según lo dispuesto en el artículo 9.2 del presente real decreto.
- iv. El consumidor y productor asociado hayan suscrito un contrato de compensación de excedentes de autoconsumo definido en el artículo 14 del presente real decreto.
- v. La instalación de producción no tenga otorgado un régimen retributivo adicional o específico.

b.2) Modalidad con excedentes no acogida a compensación. Pertenecerán a esta modalidad, todos aquellos casos de autoconsumo con excedentes que no cumplan con alguno de los requisitos para pertenecer a la modalidad con excedentes acogida a compensación o que voluntariamente opten por no acogerse a dicha modalidad.

3.1 CONCLUSIÓN

El objetivo principal para la realización de la instalación fotovoltaica en la nave industrial de la empresa, es auto-consumir la energía generada en la superficie del tejado. De esta manera se reduce el coste de compra de la energía eléctrica a la compañía suministradora de electricidad. Para ello, se debe buscar una modalidad que permita el autoconsumo eléctrico, descartándose así la modalidad de generador eléctrico ya que vierte toda la energía producida a la red eléctrica.

Dentro de las instalaciones de autoconsumo, se distinguen dos tipos, las que tienen excedentes y pueden verterlo a la red eléctrica y las que no tienen excedentes. En este caso, se va a tener excedentes de energía eléctrica ya que habrá días que se obtiene una mayor cantidad de energía de la instalación fotovoltaica de la que se consume, y este excedente se verterá a la red eléctrica o se almacenará.

En la instalación de modalidad de autoconsumo con excedentes, se distinguen dos tipos, las que se acogen a compensación y las que no. La compensación es el pago que realiza la compañía eléctrica por la energía eléctrica excedente que se vierte a la red eléctrica. Para poder acogerse a la compensación, se tienen que cumplir una serie de requisitos explicados anteriormente, resumiéndose en que la instalación sea de energía renovable y no supere los 100kW potencia.

4. ACERCA DE LA EMPRESA Y DONDE SE LOCALIZA LA NAVE INDUSTRIAL

La empresa Compresores JOSVAL, se dedica a la fabricación de pedales, servos, actuadores, válvulas de frenado, conjuntos émbolo, collarines, cabezas de acoplamiento, depósitos a presión y finalmente cabezales compresores de pistón, diseñándolos de forma propia para adecuarlo a las peticiones de los clientes.

Esta empresa fue creada por Valentín y José en el año 58, naciendo así la empresa talleres JOSVAL, con una apuesta inicial por la reparación y mantenimiento de frenos y motores para camiones y autocares. Se fue desarrollando durante años mediante la adquisición de nuevos terrenos, que posteriormente pasarían a ser la sede de la compañía, además de ello comenzaron a diseñar sus propios componentes, añadiendo también a su empresa la función de fabricación.

En los terrenos que fueron adquiridos por la empresa, se encuentra la nave industrial donde se va a realizar el estudio de la instalación fotovoltaica. La nave industrial se encuentra localizada en el polígono industrial Malpica, en la calle F número 50.



Figura 6 Fachada de la nave industrial de Compresores JOSVAL. Realización propia a partir de la Fuente: [27]

5. CONSUMO ELÉCTRICO DE LA EMPRESA

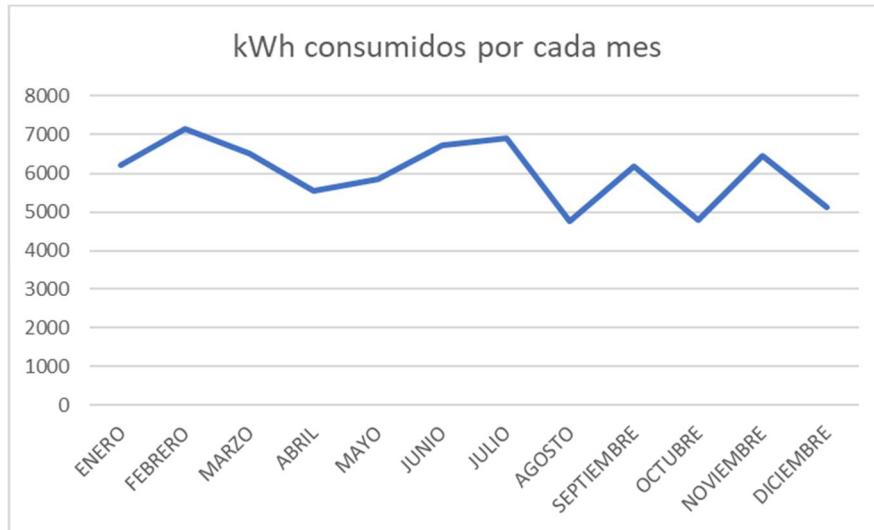
El consumo eléctrico de la empresa Compresores JOSVAL se obtiene a través de la página web de Endesa en el portal del cliente. En este portal el consumo se puede obtener de las siguientes formas: el total consumido anualmente, mensualmente, diario y horario. Se ha descargado en un Excel el consumo de la empresa por horas durante un año entero. Para que los consumos sean los más recientes se comenzó con la energía consumida durante el mes de mayo del año 2021 hasta abril de 2022.

Los consumos aparecen en kWh. El consumo total anual es de 72.222kWh. El consumo que se realiza por mes, aparece en la Tabla 2 y en la Gráfica 1. En la Gráfica 1 se observa la variación del consumo durante un año, donde se puede observar el mínimo consumo es en el mes de agosto, coincidiendo con el cierre por vacaciones de la empresa, el máximo de consumo es en el mes de febrero.

Además de febrero, otros meses de elevado consumo son junio y julio, debido al uso del aire acondicionado por las altas temperaturas a esas alturas del año, y los meses de enero noviembre y diciembre también tiene un consumo alto por el uso de elementos para calefactar. En cambio, en los meses de primavera otoño los consumos en general son más bajos al tener temperaturas más agradables.

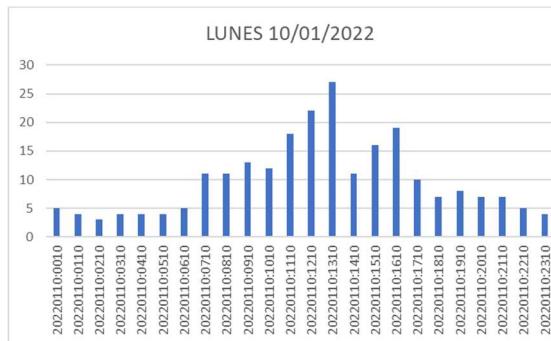
MES	CONSUMO	UNIDADES
ENERO	6.210	kWh
FEBRERO	7.153	kWh
MARZO	6.504	kWh
ABRIL	5.557	kWh
MAYO	5.845	kWh
JUNIO	6.733	kWh
JULIO	6.911	kWh
AGOSTO	4.762	kWh
SEPTIEMBRE	6.172	kWh
OCTUBRE	4.797	kWh
NOVIEMBRE	6.438	kWh
DICIEMBRE	5.140	kWh
TOTAL	72.222	kWh

Tabla 2 Consumo mensuales y consumo anual total en kWh



Gráfica 1 Variación de consumos mensuales en kWh

Mediante las gráficas Gráfica 2, Gráfica 3, Gráfica 4, Gráfica 5, Gráfica 6 y Gráfica 7, se refleja cómo sería una semana tipo del año, y un día del fin de semana, en este caso el sábado, pero el consumo es prácticamente el mismo el domingo (Gráfica 7 Ejemplo consumo sábado 15/01/2022) consume de forma constante energía eléctrica y en poca cantidad, de media 4kWh. En cambio, entre semana de lunes a jueves, se observa un cambio en el consumo respecto las horas en la que la fábrica permanece abierta y cerrada, de 8 am a 5 pm los consumos son mayores que los que se consumen el resto de horas. También se detecta una bajada a las 2 am ya que es la hora de comer. Por último, los viernes la empresa cierra antes, a las 2 am, por esa razón el consumo tras esa hora se vuelve homogéneo con lo consumido durante la noche.



Gráfica 2 Ejemplo consumo lunes 10/01/2022



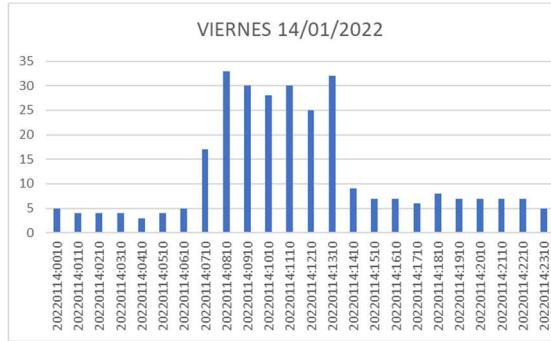
Gráfica 3 Ejemplo consumo martes 11/01/2022



Gráfica 4 Ejemplo consumo miércoles 12/01/2022



Gráfica 5 Ejemplo consumo jueves 13/01/2022

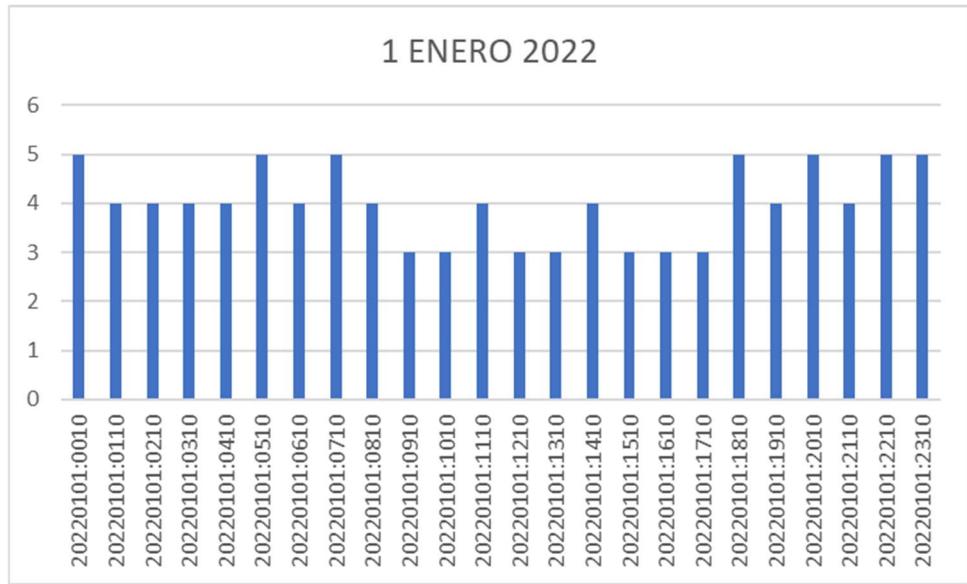


Gráfica 6 Ejemplo consumo viernes 14/01/2022



Gráfica 7 Ejemplo consumo sábado 15/01/2022

Durante los días festivos, el consumo también es bajo y se asemeja a lo que se observa en los días de fin de semana. El día elegido es el 1 de enero del 2022 (Gráfica 8), un día festivo, y se observa que la media de consumo es también 4kWh y tiene un consumo constante durante todo el día.



Gráfica 8 Consumo día 1/01/2022

En cuanto a los consumos horarios máximos y mínimos, el máximo es de 58kWh y el mínimo de 1kWh.

6. TARIFA ELÉCTRICA ACTUAL Y OTRAS TARIFAS QUE OFRECE LA COMPETENCIA

A continuación, se comparan diferentes tarifas eléctricas que ofrecen las compañías eléctricas para las PYMES, para conocer de esta forma la más barata y obtener un ahorro económico. Para las empresas PYMES, y sobre todo para las empresas del sector industrial, las compañías eléctricas proponen una tarifa que está compuesta por 6 períodos que varían de precio dependiendo de la demanda y la oferta de energía eléctrica durante los meses del año.

En la Figura 7 y Figura 8 se observan los períodos que tienen las tarifas que se ofrecen a las PYMES. En la Figura 7, se observa como varían las tarifas dependiendo de si hay alta, media alta, media o baja demanda, además de una demanda especial para días festivos. En cuanto a la Figura 8, se observan cada uno de los meses y sus períodos asignados.

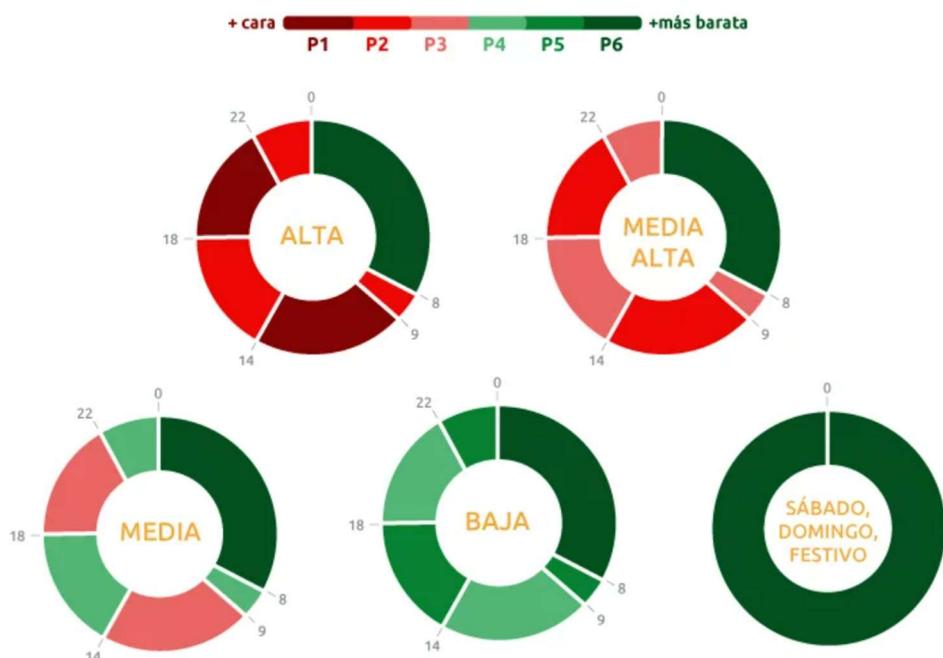
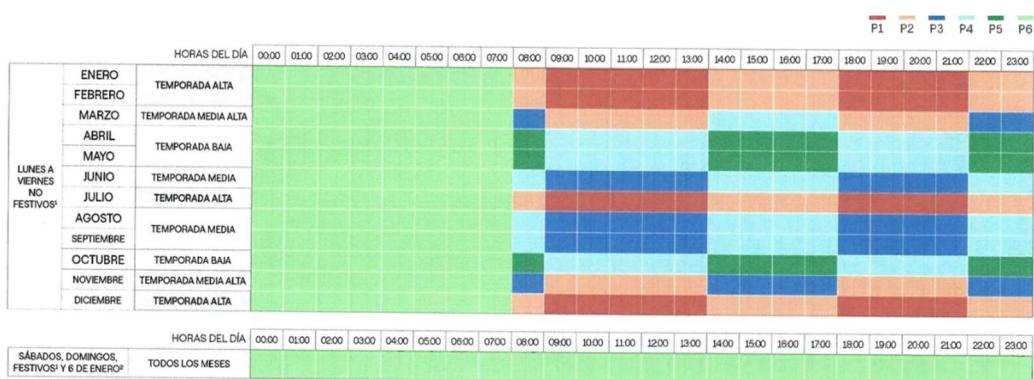


Figura 7 Representación de las diferentes períodos activos actualmente y sus precios por horas. Fuente [33]



1 Festivos: misma definición que la actual.

2 El 6 de enero pasará a ser un día con todas las horas en P6 como el resto de festivos eléctricos.

Anexo

PEJES DE TRANSPORTE Y DE DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD

Figura 8 Representación de los diferentes períodos activos actualmente y sus precios por horas. Fuente: [34]

Para comenzar con la comparación entre las diferentes tarifas que ofrecen distintas compañías eléctricas, se buscan los valores el precio de la energía y el precio de la potencia contratada de cada uno de los períodos. En la Tabla 3 a continuación aparecen los valores económicos de cada una de las tarifas y el nombre de la compañía eléctrica.

Tarifas	Gesternova	Término de energía	Término de potencia
P1	0,2846	€/kWh	0,0437 €/kW día
P2	0,2605	€/kWh	0,0346 €/kW día
P3	0,2426	€/kWh	0,0181 €/kW día
P4	0,23	€/kWh	0,0157 €/kW día
P5	0,2027	€/kWh	0,0111 €/kW día
P6	0,2059	€/kWh	0,009 €/kW día
VENTA DE Energía	0,05	€/kWh	
Tarifas	Open Endesa	Término de energía	Término de potencia
P1	0,3586	€/kWh	0,0407 €/kW día
P2	0,3586	€/kWh	0,0316 €/kW día
P3	0,3586	€/kWh	0,0151 €/kW día
P4	0,3586	€/kWh	0,0127 €/kW día
P5	0,3586	€/kWh	0,0081 €/kW día
P6	0,3586	€/kWh	0,006 €/kW día
VENTA DE Energía	0,05	€/kWh	
Tarifas	Iberdrola	Término de energía	Término de potencia
P1	0,248	€/kWh	0,0446 €/kW día
P2	0,2409	€/kWh	0,0329 €/kW día
P3	0,2267	€/kWh	0,0155 €/kW día
P4	0,2203	€/kWh	0,0129 €/kW día
P5	0,2147	€/kWh	0,0127 €/kW día
P6	0,2073	€/kWh	0,0108 €/kW día
VENTA DE Energía	0,05	€/kWh	
Tarifas	ODF	Término de energía	Término de potencia
P1	0,2771	€/kWh	0,0396 €/kW día
P2	0,2554	€/kWh	0,0305 €/kW día
P3	0,2354	€/kWh	0,014 €/kW día
P4	0,2322	€/kWh	0,0116 €/kW día
P5	0,2092	€/kWh	0,007 €/kW día
P6	0,2048	€/kWh	0,0049 €/kW día
VENTA DE Energía	0,05	€/kWh	
Tarifas	Endesa(actual)	Término de energía	Término de potencia



P1	0,153484	€/kWh	0,071486	€/kW día
P2	0,153484	€/kWh	0,062229	€/kW día
P3	0,153484	€/kWh	0,035609	€/kW día
P4	0,153484	€/kWh	0,028537	€/kW día
P5	0,153484	€/kWh	0,0081912	€/kW día
P6	0,153484	€/kWh	0,00454111	€/kW día
VENTA DE Energía	0,05	€/kWh		

Tabla 3 Valor del Término de potencia y Término de energía de diferentes comercializadoras de energía para PYMES. Fuente: [33]

En cuanto a la comparación entre ellas, se toman los consumos por horas de todo el año, teniendo en cuenta la variación de precio de los diferentes meses del año. En cuanto al precio distinto de los días festivos y fines de semana, no se tiene en cuenta en la comparación de tarifas, es decir, el precio de la tarifa esos días es el mismo que el precio del mes al que pertenece.

También se necesita conocer la potencia contratada por horas de la empresa. En este caso como se observa en la Tabla 3, hay 6 términos de potencia distintos, por ello seis potencias contratadas distintas:

PERIODOS	POTENCIA CONTRATADA
P1	100
P2	88
P3	88
P4	88
P5	88
P6	65

Tabla 4 Potencia contratada. Fuente: [33]

En la tabla se muestran los resultados del coste total de la energía variable y el de la potencia contratada durante todo el año de las 5 diferentes tarifas, y la suma total de los dos costes que es lo que se compara para obtener la conclusión final.

Tarifa y Empresa	Coste del término de energía	Coste del término de potencia	Coste Total
Horas Plus de Gesternova	17.362,75€	3.918,82€	21.281,57€
Plan Exclusivo de Iberdrola	16.395,12€	3.829,22€	20.221,34€
Luz Tempo Open de Endesa	25.898,81€	3.352,71€	29.251,52€
Precio Fijo de ODF	17.157,63€	3.145,13€	20.302,76€
Actual Endesa	11.084,92€	6.184,02€	17.268,94€

Tabla 5 Tarifas y Costes de las compañías eléctricas.

Se observa en la Tabla 5 que la tarifa que la empresa Compresores JOSVAL, tiene actualmente contratada la opción más barata, por lo tanto, se mantiene esta tarifa. La tarifa es de la empresa suministradora de energía Endesa, con un precio total anual de 17.268,94€.

7. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

7.1 ORIENTACIÓN DE LA NAVE INDUSTRIAL Y DE LAS PLACAS FOTOVOLTAICAS

Para poder conocer la orientación que tendrán las placas fotovoltaicas, se debe conocer como es la forma de la superficie del tejado. Existen diferentes opciones de disposición de las placas solares dependiendo de la forma del tejado.

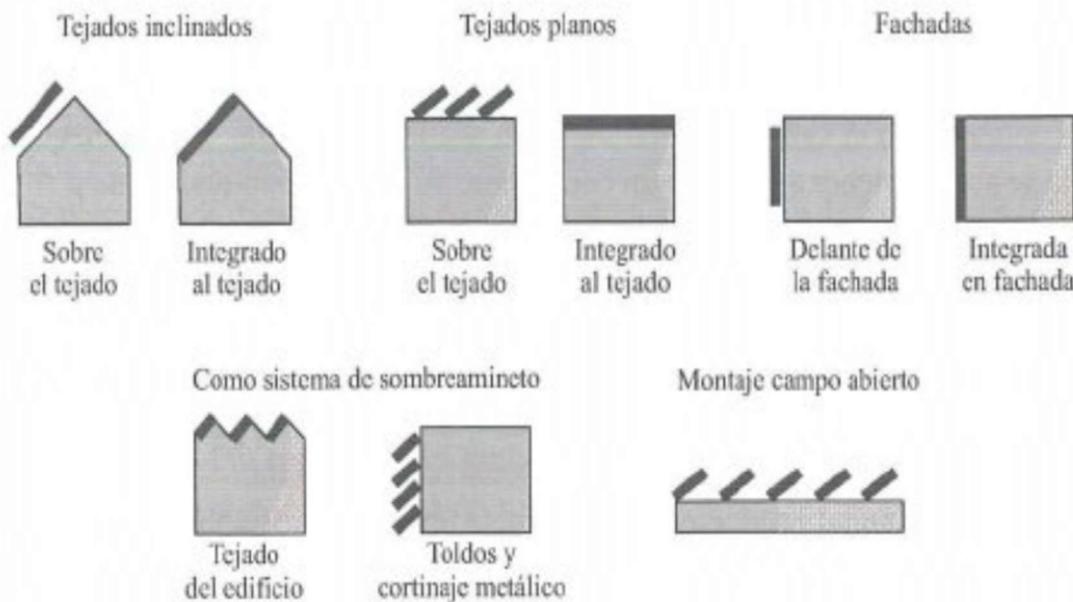


Figura 9 Diferentes disposiciones de las placas fotovoltaicas dependiendo de la superficie de apoyo. Fuente: [6]

La forma del tejado se puede dividir en dos tipos de zonas, la superficie que se encuentra en la parte delantera de la nave, encima de las oficinas, y la superficie sobre la fábrica (Figura 10).



Figura 10 Imagen lateral de la nave industrial de Compresores JOSVAL Fuente: [27]

En la parte de la superficie de las oficinas (Figura 11), es una superficie plana de 8,75m de ancho por 40m de largo. El ángulo de colocación de las placas solares no se ve afectado por ningún elemento estructural, es decir, que se puede instalar en esta superficie con el ángulo que más convenga para tener un máximo rendimiento de generación energética.



Figura 11 Imagen de la zona de oficinas de la nave industrial. Fuente: [27]

La segunda de las superficies, es la que se sitúa encima de la zona de fabricación de la empresa (Figura 12). La superficie tiene forma parecida a la de sierra, pero con una pequeña curvatura en el lateral que apunta hacia el sur y el otro lateral tiene una superficie inclinada recta.



Figura 12 Imagen de la fábrica de la nave industrial. Fuente: [27]

Las placas solares se colocarán en el lateral que apunta hacia el sur. Esto es debido a que según la página web PVGIS, el ángulo óptimo es 38º de inclinación de placas y 1º de azimut (ángulo respecto al sur), es decir, que las placas solares orientadas hacia el sur dan un mayor rendimiento en la generación de energía eléctrica. Pero para conocer el azimut que tendrá que conocer la orientación de la nave industrial.

7.1.1 ORIENTACIÓN DE LA NAVE INDUSTRIAL

En la Figura 13, se observa la orientación que tiene la nave industrial respecto a los puntos cardinales. La superficie del tejado en forma de sierra tiene un azimut, el ángulo respecto al sur, de 24° . El azimut es el ángulo de los módulos fotovoltaicos en relación con la dirección sur, -90° es este, 0° es sur y 90° es oeste.

Este ángulo se tomará como referencia para la colocación de las placas, ya que se necesitaría una estructura mínima, ya que el ángulo que tiene es el del tejado. Aunque también se estudiarán otros ángulos para comparar rendimientos y elegir la mejor de las opciones.



Figura 13 Imagen de la superficie del tejado de la nave industrial. Fuente: [27]

7.1.2 ORIENTACIÓN DE LAS PLACAS SOLARES

Para realizar esta comparación de rendimientos, se usará la herramienta PVGIS. PVGIS, es una herramienta de la UE que permite obtener información acerca de la radiación solar y el rendimiento de un sistema fotovoltaico para cualquier localización situada en Europa, África, América y Asia.

Para la comparación de los rendimientos según los diferentes ángulos de colocación, se comenzará con el análisis de la energía que se obtendrá a partir de 1kWp de potencia instalada de placas fotovoltaicas. Además, el propio programa, estima unas pérdidas del sistema del 14%, aunque este valor varía dependiendo, de los tipos de inversores instalados, y del resto de elementos tanto electrónicos y eléctricos del sistema.

Las diferentes orientaciones de las placas solares que se compararán, serán todas con ángulos fijos, ya que, aunque existe la opción de instalaciones orientables para obtener así el máximo rendimiento, no serán consideradas debido al aumento de la complejidad, del coste y del peso del sistema. En primer lugar, se tomará la orientación óptima que calcula el propio programa de PVGIS. En segundo lugar, se tendrá en cuenta la orientación de la nave industrial sobre el sur, es decir, con un azimut de 24° , pero con un ángulo de inclinación de

la placa sobre la superficie horizontal optimizada. La tercera disposición, se mantiene el azimut de la anterior disposición, pero el ángulo de inclinación se toma uno que se adapte a la superficie del tejado, en este caso serán 27º como se observa en la figura.

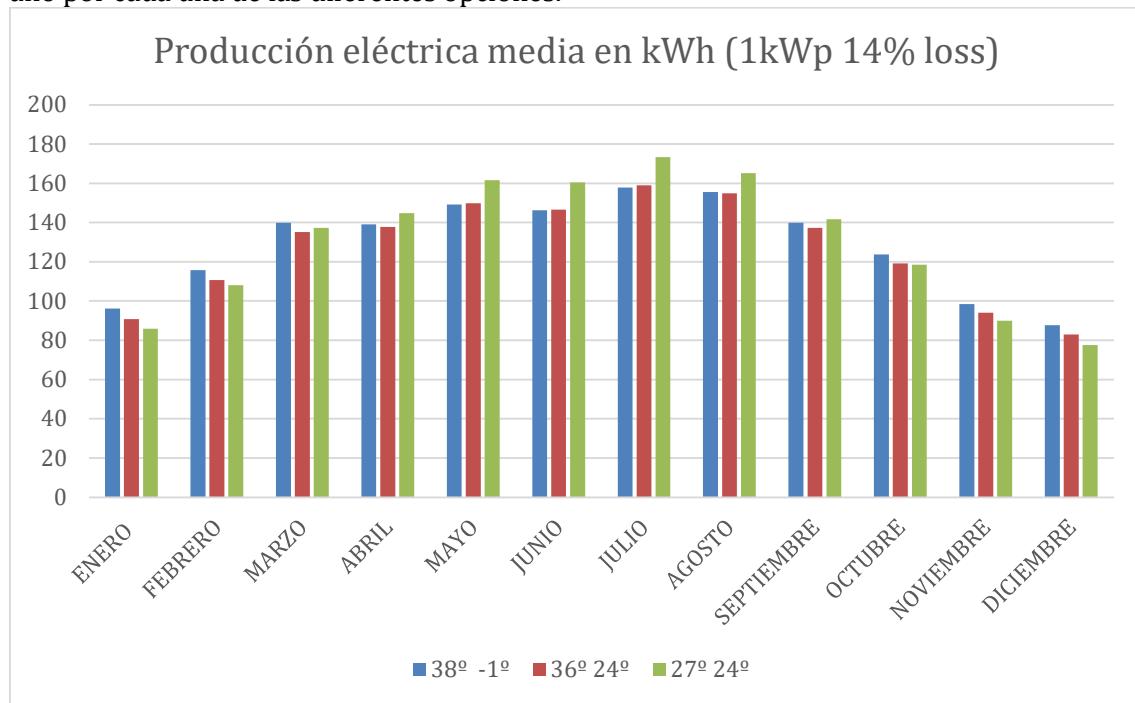


Figura 14 Disposición de placas solares sobre la superficie.

Las opciones que se han estudiado son los ángulos óptimos que proporciona el propio PVGIS:

- Opción A: 38º de la inclinación de las placas y el azimut de -1º,
- Opción B: 36º de la inclinación de las placas y el azimut de 24º,
- Opción C: 27º de la inclinación de las placas y el azimut de 24º,

Se obtienen los valores en el PVGIS con una potencia de 1kWp de placas fotovoltaicas. Los valores son mensuales y se observa el cambio de tendencia dependiendo de los meses del año por cada una de las diferentes opciones.



Gráfica 9 Producción eléctrica media en kWh de las tres opciones de ángulos.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	
A	96,1	115,7	139,8	139,1	149,2	146,2	
B	90,7	110,7	135,1	137,7	149,8	146,6	
C	85,8	108	137,2	144,8	161,5	160,5	
	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	SUMA
A	157,8	155,6	139,9	123,8	98,5	87,7	786,1
B	159	154,9	137,3	119,2	94,1	82,9	770,6
C	173,3	165,1	141,6	118,5	89,9	77,6	797,8

Tabla 6 Producción eléctrica media en kWh de las tres opciones de ángulos.

Se puede observar en la Tabla 6 y la Gráfica 9 que la opción B (color rojo), nunca es la mejor opción de las tres, ya que el resto de las posiciones son mejores en diferentes épocas del año.

Y en cuanto a las dos opciones restantes, A y C, se observa que en los 6 meses de invierno (octubre a marzo) la opción que mejor funciona es la Opción A (color azul). En cambio, en los seis meses de primavera-verano (abril-septiembre), la mejor es la Opción C (color verde).

La Opción C tiene una diferencia positiva de producción energética de 14,4kWh, respecto a lo producido por la Opción A en un año completo con una instalación de 1kWp.

Además, la instalación de la Opción C es más barata que la Opción A, dado que no requiere una gran cantidad de elementos estructurales para tener las placas orientadas con un ángulo de inclinación de 27° y azimut 24°. Debido a que tiene los mismos ángulos que la superficie del tejado sobre la que se apoyará.

Esta inclinación será aplicada también para la superficie plana del tejado de la zona de oficinas.

7.2 DATOS DEL PVGIS

Conociendo los ángulos de las placas solares, se puede descargar la información de PVGIS necesaria para realizar el trabajo. Se descarga con los datos más reciente que tiene su base de datos, es decir, del año 2020.

PVGIS necesita conocer la localización exacta de la nave industrial, el ángulo de las placas fotovoltaicas, las pérdidas del sistema (14%), tipo de tecnología fotovoltaica, la potencia instalada en kWp y el periodo de tiempo que se va a estudiar.

La localización de la nave industrial de Compresores JOSVAL es 41, 665° y -0, 77°. Los ángulos de las placas fotovoltaicas son 27° de inclinación y 24° de azimut. En cuanto a la tecnología de las placas fotovoltaicas, se puede elegir entre CdTe (teluro de cadmio), CIS (cobre, indio, galio y seleniuro) y cristal de silicio, las placas fotovoltaicas elegidas son de cristal de silicio. Para comparar entre las placas fotovoltaicas, se va a tomar 1kWp de potencia de instalación.

Cuando se descargan estos datos se pasan a una hoja de EXCEL para comenzar con los cálculos del resto de los apartados. Se importan datos de archivo de texto descargados y aparecen los datos durante las 8.784 horas del año 2020.

Column1
Latitude (decimal degrees):41,655
Longitude (decimal degrees):-0,777
Elevation (m):212
Radiation database:PVGIS-SARAH2
Slope: 27 deg,
Azimuth: 24 deg,
Nominal power of the PV system (c-Si) (kWp):1,0
System losses (%):14,0

Figura 15 Datos introducidos en el PVGIS.

P: PV system power (W)
Gb(i): Beam (direct) irradiance on the inclined plane (plane of the array) (W/m ²)
Gd(i): Diffuse irradiance on the inclined plane (plane of the array) (W/m ²)
Gr(i): Reflected irradiance on the inclined plane (plane of the array) (W/m ²)
H_sun: Sun height (degree)
T2m: 2-m air temperature (degree Celsius)
WS10m: 10-m total wind speed (m/s)
Int: 1 means solar radiation values are reconstructed

Figura 16 Datos obtenidos en el PVGIS.

La temperatura en los meses centrales del año es más alta, afectando al rendimiento, ya que temperaturas más altas lo reducen. En los meses primeros y últimos del año, se observa una media menor de temperatura, por lo tanto, un rendimiento mayor (Figura 17).

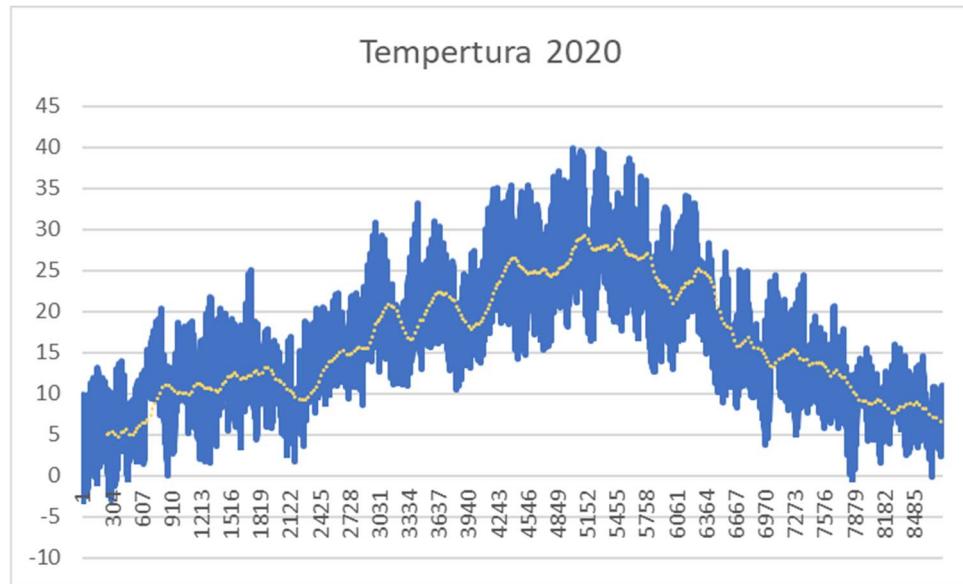


Figura 17 Temperatura durante el año 2020 en la localización de la nave industrial.

En cuanto a la irradiancia total aparece como la suma total de las tres irradiancias, irradiancia directa (Gb), irradiancia difusa (Gd) e irradiancia reflejada (Gr).



Gráfica 10 Irradiancia total durante el 1/01/2020.



Gráfica 11 Irradiancia total durante el 1/08/2020.

Se observan dos días distintos, el primero es la irradiancia total del 1 de enero del 2020 (Gráfica 10) y el segundo de un día de verano, 1 de agosto del 2020 (Gráfica 11). En el segundo la irradiancia es casi 10 veces mayor que la del día de invierno, produciéndose así una cantidad mayor de energía eléctrica por la instalación fotovoltaica.

7.3 ELECCIÓN DE LOS MÓDULOS SOLARES

Los módulos solares que forman parte en la generación eléctrica instalada en el tejado de la fábrica, se especifican en este apartado. La elección de los módulos comienza con la comparación entre tres módulos de distinta potencia, de 3 distribuidores distintos, pero de un mismo fabricante. De esta manera se observa si es más rentable tener módulos de una mayor o menor potencia, y que distribuidor tiene los mejores precios. El fabricante en cuestión es Trina Solar, líder mundial en fabricación de placas solares.

Cuando se elija la placa solar, con su potencia y su precio, se comparará con una placa solar del fabricante Sunergy Solar Works, con una garantía y un precio menor.

Las características de las placas solares son las siguientes:

Meisongmao industrial	Epax Solar				
Vertex TSM-DE20 585-605			Vertex S TSM-DE09.08 390-405		
Precio	295,2	€	Precio	273,6	€
Tonc	43	°C	Tonc	43	°C
Pmax	600	Wp	Pmax	400	Wp
Corriente cc	18,52	A	Corriente cc	12,28	A
Eficiencia	21,2	%	Eficiencia	20,8	%
Coef. variación	-0,34	%/°C	Coef. variación	-0,34	%/°C
Techno sun	Sunergy Solar				
Vertex TSM-DE18M(II) 485-510W			SUN 72M-H8 530-550W		
Precio	356	€	Precio	218,9	€
Tonc	43	°C	Tonc	45	°C
Pmax	500	Wp	Pmax	550	Wp
Corriente cc	12,28	A	Corriente cc	13,82	A
Eficiencia	20,7	%	Eficiencia	21,28	%
Coef. variación	-0,34	%/°C	Coef. variación	-0,35	%/°C

Tabla 7 Datos de las placas fotovoltaicas. Fuente: [28]/[29]/[30]/[31]

Con los datos de la Tabla 7, se puede realizar la comparación de las diferentes placas. Para ello, se utiliza la herramienta EXCEL, donde se obtienen los resultados. La energía eléctrica por horas producida por las placas solares se calcula mediante los valores de irradiancia, temperatura del aire, altura del sol y la potencia horaria del sistema fotovoltaico que da la herramienta de la UE PVGIS.

Para obtener la energía generada por las placas fotovoltaicas, en primer lugar, se tiene que calcular la temperatura de las celdas con la siguiente formula:

Ecuación 1

$$Tc\ emp = Ta\ emp + \frac{TONC(°C) - 20}{800} + G\ emp$$

Siendo:

- Ta emp: la temperatura ambiente, la cual se obtiene a partir de los datos de PVGIS, dato por horas.
- TONC: dato de las placas solares dado por el fabricante
- G emp: suma total de la irradiancia por horas durante el año

Esta temperatura de la celda se utiliza para la calcular la potencia máxima que tiene la instalación cada hora del año. Siendo la formula la siguiente:

Ecuación 2

$$P_{max} = P_{mp(STC)} * \frac{GEMP}{GSTC} * \frac{y}{100} * (T_{cemp} - 25) + 1$$

Siendo:

- $P_{mp(STC)}$: potencia nominal en condiciones STC)
- $GSTC$: irradiancia en STC, 1.000W/m²
- y : coeficiente de variación (%/°C)

Mediante esta potencia se obtiene la energía eléctrica que se genera cada hora del año como máximo. Se multiplica esta energía generada por el valor de compra de energía eléctrica medio de España según la REE, que es de 0,26€/kWh, para calcular el ahorro que aporta cada tipo de placas solares.

La instalación con la que se va a realizar la comparación, va a tener la misma potencia máxima para cada una de las placas fotovoltaicas, 1kWp. Cuando se tiene el total de los kWh anuales que genera 1kWp de cada una de las diferentes placas fotovoltaica, se multiplica por el precio por kWh indicado.

Modelo	Potencia instalada	Precio	Ahorro durante un año
Vertex TSM-DE20 585-605	1kW	492€	481,18€
Vertex S TSM-DE09.08 390-405	1kW	684€	481,18€
Vertex TSM-DE18M(II) 485-510W	1kW	712€	481,18€
SUN 72M-H8 530-550W	1kW	398€	477,33€

Tabla 8 Comparación de las placas fotovoltaicas.

Con el valor del ahorro durante un año, se puede descartar las placas fotovoltaicas Vertex S TSM-DE09.08 390-405 y Vertex TSM-DE18M(II) 485-510W, ya que con el mismo ahorro anual el precio es mayor que el del Vertex TSM-DE20 585-605. Las placas fotovoltaicas de la marca Trina Solar tienen una garantía de 15 años con una vida útil esperada de 25 años.

La placa solar de Sunergy Solar, SUN 72M-H8 530-550W, tiene un ahorro energético menor que el resto de las placas, pero con un precio por placa mucho menor que el resto de las opciones. Como se observa en la Tabla 8, la diferencia del precio de compra es de 94€ por cada kW de placas solares y el ahorro es 3,85€ menos. También esta placa solar tiene 10 años de garantía que son 5 menos que las de la fabricante Trina solar, y una vida útil de 20 años, 5 años menos que el resto de las placas fotovoltaicas.

Se va a elegir las placas de Vertex por la garantía y una vida útil mayor, ya que el ahorro por un 1kW es de 3,85€ anuales, lo cual es poca diferencia para elegirlo sobre el resto.

La placa fotovoltaica elegida será Vertex TSM-DE20 585-605, con 600Wp. Con una garantía de 15 años y 25 años de vida útil.

7.4 NÚMERO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS QUE PUEDE ALBERGAR LA SUPERFICIE DEL TEJADO DE LA NAVE INDUSTRIAL

La anchura de la placa solar se conoce tras la elección de la misma en el apartado anterior, de esta forma se puede estimar la cantidad máxima que puede albergar el tejado de la nave industrial.

Las dimensiones de las placas fotovoltaicas Vertex TSM-DE20 585-605 es de 2172×1303×35mm (Figura 18).



Figura 18 Dimensiones de la placa fotovoltaica. Fuente: []

Para estimar la cantidad máxima de placas solares que se pueden instalar en el tejado de esta nave industrial, se deben conocer sus respectivas medidas. Estas medidas han sido realizadas mediante la herramienta “medir distancias” de Google Maps.



Figura 19 Representación de las dimensiones de las diferentes superficies del techo de la nave industrial.
Realización a partir de la Fuente: [27]

Se ha dividido la superficie del tejado en 9 superficies de apoyo distintas, donde cada una tiene características diferentes (Figura 19).

A continuación, se calcula la cantidad de placas dispuestas en una fila que puede albergar cada una de las superficies. Teniendo en cuenta que para cada una de las filas se asume un margen de 2,5m de distancia, para que haya un margen entre las placas y el borde de las superficies, y que haya un espacio mínimo entre las diferentes placas fotovoltaicas de una misma fila. Es decir, al número máximo de placas por cada fila en cada superficie se le restan 2 placas.

Nº Superficie	Longitud superficie	Nº Placas Solares	Nº Placas Solares con margen
1	40,77m	31,29	29
2	59,17m	45,41	43
3	57,72m	44,29	42
4	56,37m	43,26	41
5	54,72m	41,99	39
6	53,43m	41,00	39
7	47,30m	36,3	34
8	41,57m	31,9	29
9	40,99m	31,45	29
TOTAL			325

Tabla 9 Número de placas solares por cada una de las superficies.

TOTAL = 325 placas fotovoltaicas como MÁXIMO si se considera una sola fila por cada una de las superficies.

El valor indica el número máximo de placas solares en total en todas las superficies con únicamente una fila de placas solares en cada una. Pero, se puede añadir en ciertas superficies más de una fila teniendo en cuenta que las hileras de placas fotovoltaicas no se afecten entre si con sombreados, lo que reduciría el rendimiento de la instalación.

Para calcular las filas que se pueden instalar por cada superficie, se va a tener en cuenta las sombras que crean cada una de las placas solares de las primeras filas sobre las que están detrás, para ello se necesita calcular la cantidad mínima de distancia entre las diferentes filas que no tendría sombreado mediante esta fórmula;

Ecuación 3

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})}$$

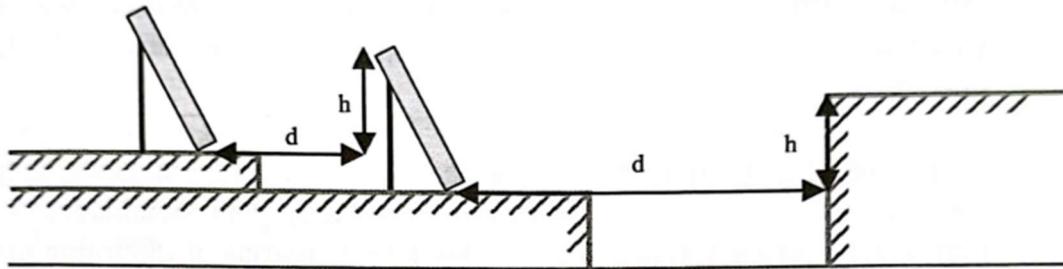


Figura 20 Dimensiones a tener en cuenta para el cálculo del sombreado Fuente: [32]

Sabiendo que la localización de la nave industrial es latitud: $41,655^\circ$ y de longitud $-0,777^\circ$. La h es la altura de la placa solar respecto a la superficie en la que están apoyadas.

Conociendo las dimensiones de las placas solares 2172x1303x35mm, la longitud de la placa es de 2,172m y un ángulo sobre la superficie horizontal de 27° .

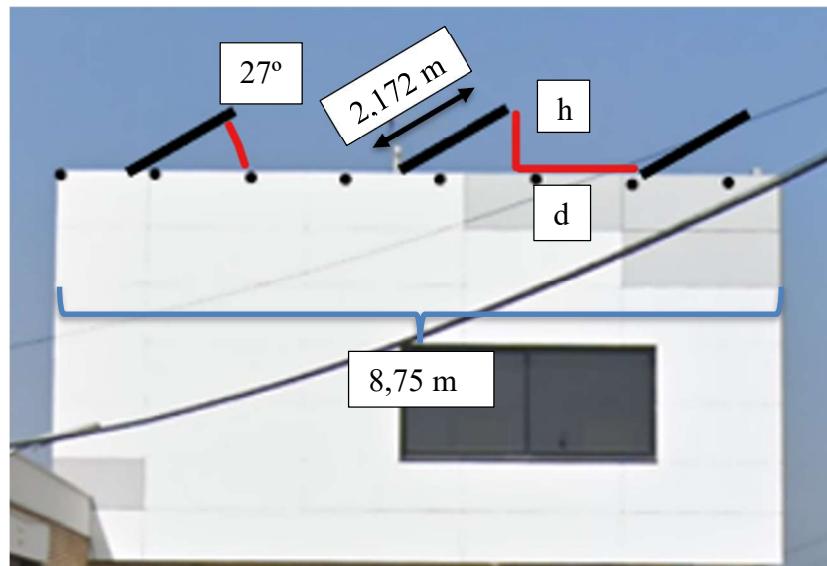


Figura 21 Dimensiones importantes para el cálculo del sombreado y las incógnitas que se quieren conocer.
Realización a partir de la Fuente: [27]

Ecuación 4

$$H = 2,172 \text{m} * \text{sen } 27^\circ = 0,986 \text{m}$$

Ecuación 5

$$d = \frac{0,986 \text{ m}}{\tan(61^\circ - 41,655)} = 2,808 \text{ m}$$

La anchura de la superficie del tejado es 8,75m (Figura 21), y se dividirá entre el valor de la distancia mínima entre placas fotovoltaicas, $d=2,808\text{m}$, para obtener el número de filas que puede albergar.

Ecuación 6

$$\frac{8,75}{2,808} = 3,11 \text{ filas}$$

En la superficie de las oficinas, superficie 1, tiene la capacidad de albergar hasta 3 filas.

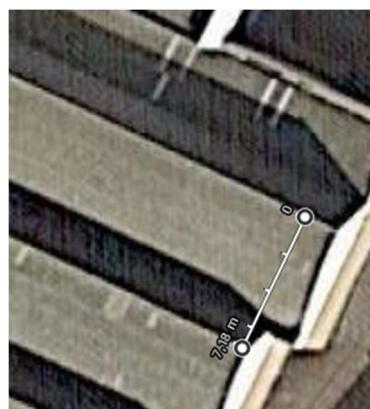


Figura 22 Distancia entre las diferentes superficies del tejado. Fuente: [27]

También se va a comprobar que se pueden instalar de manera correcta las placas fotovoltaicas en el resto de las superficies, y como se puede observar la distancia de 7,18m supera con creces la distancia de 2,8m.

Pero si se considera la posibilidad de que pudiera tener en la superficie 1, hasta 3 filas, da lugar a una capacidad de 87 placas fotovoltaicas en esta superficie. Siendo la capacidad total **412 placas fotovoltaicas**.

7.5 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE MODALIDAD DE SUMINISTRO CON AUTOCONSUMO CON EXCEDENTES

En este apartado, se calcula la cantidad de placas fotovoltaicas que finalmente se instalarán. Esta estimación, se calcula mediante la herramienta EXCEL, obteniendo resultados que dan lugar a la conclusión final.

Para comenzar, se toma el EXCEL ya realizado para la elección de las placas solares, con los mismos datos obtenidos del PVGIS y los valores de potencias máxima horaria para un 1kWp de placas solares de Trina Solar. Estos valores de potencia se dividen entre mil dando lugar a lo producido por 1Wp de instalación, valor que multiplicado por los Wp totales del número de placas seleccionadas se obtiene la energía generada por horas por la instalación.

La potencia contratada se mantiene para la nave industrial teniendo o no la instalación ya que en un día nublado la generación es baja y la potencia que demanda la fábrica tiene que estar cubierta. Además, esta potencia contratada se tiene que tener en cuenta ya que la instalación debe tener una potencia máxima menor que esta. En este caso la potencia menor es la P6, con 65kW. En el caso que se quiera tener una instalación fotovoltaica de mayor

potencia, se deberá cambiar el contrato con la suministradora eléctrica, pero en este caso se va a mantener la potencia contratada.

Conociendo la potencia contratada mínima de 65kW, la máxima cantidad de placas fotovoltaicas Vertex TSM-DE20 585-605 depende del inversor que se instale, porque trabajan a un porcentaje menor que la potencia total de la instalación. Cifra con la que se comenzará a realizar las comparaciones para elegir la cantidad de placas óptima.

Los beneficios de una instalación fotovoltaica vienen del ahorro del coste de la energía que se consume, ya que un porcentaje de la energía proviene de la generada en la instalación en vez de ser comprada a la compañía eléctrica Endesa. El porcentaje de lo consumido de lo producido de la instalación fotovoltaica depende de lo que se produzca y lo que consuma la empresa en cada hora.

Diferencia entre lo consumido y lo producido:

Ecuación 7

Consumido por la empresa – Producido por la instalación

Pero en el caso de que la energía generada por la instalación supere durante unas horas a lo consumido por la empresa, la energía excedente se vierte a la red eléctrica. En este caso además del ahorro que se produce porque se consuma lo producido por la instalación, el excedente vertido es vendido a la compañía eléctrica.

Energía excedente:

Ecuación 8

Consumido por la empresa – Producido por la instalación = Resultado Negativo

Con el resultado de la diferencia de la Ecuación 7, se puede obtener el balance económico horario. Dependiendo de si la diferencia es mayor o menor que cero, se multiplicará por un coste distinto. Si es negativa la diferencia, se produce la venta de excedente de energía a un precio de 0,05€/kWh, y en el caso contrario dependerá del periodo horario, debido a las 6 diferentes tarifas.

En Excel se haría de esta manera:

Ecuación 9

*SI: Diferencia > 0(prueba lógica);
Diferencia × Precio del periodo (valor verdadero);
(Diferencia × 0,05€/kWh)(valor falso))*

Con la Ecuación 9 se obtendrá el valor del balance económico de cada una de las horas. Lo que se paga a la compañía eléctrica por la cantidad de energía tendrá un resultado positivo, mientras el excedente vendido será negativo, debido a que el resultado de la diferencia en este último caso era negativo. Conociendo el balance económico de cada hora del año, se hará un sumatorio de todos para obtener el resultado de lo que se pagará al año a la compañía eléctrica en términos de energía variable, ya que la potencia contratada se mantendrá igual.

Ecuación 10

SUMA = (resultado dia 1 de enero 00:00; resultado 31 diciembre 11:00)

De esta manera, se obtiene el resultado de lo que se pagará a final de año a la compañía eléctrica en el caso de que el resultado sea positivo, o lo que la empresa recibirá, si el resultado es negativo. Pero este resultado no indica el total de lo ahorrado respecto a lo que

se tenía antes sin ninguna instalación, sino el resultado de ese año. Para ello se hará la diferencia con el resultado de lo que se pagaba a la compañía por la energía consumida sin ningún tipo de instalación (Tabla 5).

Ecuación 11 Total coste sin instalación – SUMA(Ecuación 10) = Ahorro en el consumo + venta de la energía

Explicación de las columnas del Excel con la ecuaciones Ecuación 7, Ecuación 8, Ecuación 9 y Ecuación 10 en la Tabla 10:

Precio energía eléctrica por hora (1)	Precio de compra del excedente de energía (2)	Energía consumida (3)	Energía generada (4)	Consumido por la fábrica – Energía generada (5)	Valor económico de cada hora (6)
Dependiendo del periodo se aplicará un precio distinto. P1, P2, P3, P4, P5, P6	La compañía compra este excedente por 0,05€/kWh.	Energía que consume la nave industrial obtenido mediante el portal de clientes de Endesa.	Energía generada por la instalación fotovoltaica cada hora.	Se obtiene un resultado positivo de la diferencia si se consume más energía de la producida o un resultado negativo si existen excedentes	1- (5) positivo: Resultado (5) * Precio (1) 2- (5) negativo: Resultado (5) * Precio (2)

Tabla 10 Excel del cálculo de la rentabilidad de la instalación fotovoltaica.

El resultado de la Ecuación 11 es el dinero que se ahorra con la instalación, junto al dinero que se gana con la venta de la energía excedente directamente a las eléctricas.

El número de placas solares más rentable se estima mediante la búsqueda la máxima rentabilidad de la instalación. Para una instalación de 25 años de vida útil como se plantea, variarán los consumos año a año, ya que se asume un crecimiento del 5% anual de la empresa, y normalmente el crecimiento va acompañado del crecimiento del consumo, en este caso se asume un crecimiento del 5% anual.

También existen perdidas de degradación anuales en las placas fotovoltaicas, es decir, se reduce la producción respecto al año anterior. Estas pérdidas por degradación son del 15% en los 25 años de vida útil de la instalación, es decir unas pérdidas de capacidad productiva del 0,6%, hasta que la placa fotovoltaica trabaje a un 85% del rendimiento máximo [28]. Además, la inflación se aplica a los precios de la compra y venta de la electricidad. Es decir, que, a los precios de la electricidad de los 6 diferentes períodos y el precio de venta del excedente, aumentan un 2,68% cada año [23]. La diferencia de la Ecuación 11 se hace con el mismo aumento del consumo y del precio de la electricidad cada año, para el coste total del consumo sin la instalación.

El coste de mantenimiento de las placas fotovoltaicas se sitúa alrededor del 2% (fuente: [32]) de la inversión inicial y se ve afectada cada año por el crecimiento de la inflación.

Para el flujo de caja final de cada año, a parte de lo explica anteriormente, se necesita conocer los impuestos necesarios que se aplican a la instalación.

- Impuesto de la electricidad generada: actualmente es cero, ya que el impuesto al sol del año 2015, fue derogada por el Real Decreto-ley 15/2018.
- Impuesto IVA: este impuesto aparece en la compra de los materiales para la instalación, está incluido de antemano.
- Impuesto de sociedades: se sitúa en 25% del resultado del EBITDA.

Año	0	1
Pérdidas de degradación	-	0,6% anual
Inflación	-	2,68% anual
Ahorro	0	Resultado Ecuación 11
Costes de la instalación	Inversión inicial	2% de la inversión inicial (mantenimiento)
Impuesto de electricidad	-	0
EBITDA	Ahorro – Impuestos-Costes instalación	
Impuesto de sociedades	0	25% EBITDA
FLUJO DE CAJA		EBITDA-Impuesto de sociedades

Tabla 11 Explicación obtención de los flujos de caja.

7.5.1 VAN Y TIR

El VAN [26] es un criterio que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto para conocer cuánto se va a ganar o perder y dando a conocer el rendimiento de la inversión.

El valor de la i se calcula con respecto a otras inversiones estandarizadas y trae al momento presente todos los flujos de caja. La fórmula que calcula dicho interés, es la siguiente;

Ecuación 12

$$i = e + k + r$$

- e : tipo de interés en España [25] = 1,1%
- k : inflación anual en España [23] = 2,675%.
- r : prima de riesgo de España [24] = 1,11%

Si el valor del $VAN < 0$, significa que la inversión no es rentable generando de esta manera pérdidas. Siendo el $VAN = 0$ no generará ni perdidas ni beneficios tras los años en los que se tenga la instalación funcionando, y por último si el $VAN > 0$, significa que la instalación generará beneficios y será un proyecto rentable.

Ecuación 13

$$VAN = -Io + \sum_{t=1}^n \frac{F * (1 + f)^t}{(1 + i)^t * (1 + g)^t}$$

Mediante esta fórmula se obtiene el VAN, donde;

- Io : inversión inicial
- n : número años en los que está la instalación funcionando
- F : flujos de caja de la instalación
- i : tasa de descuento
- f : variación anual de los flujos de caja en tanto por uno
- g : tasa de inflación

En nuestro problema la inversión inicial varía dependiendo de lo que se está calculando, como también varía la Q . En cambio, la n tiene el valor de 25 años, debido a que es lo que

dicen los fabricantes que una placa solar de su producción tiene de garantía de funcionamiento.

Para observar y obtener la rentabilidad de la instalación, se calcula el TIR, el cual es un valor muy relacionado con el VAN, debido a que es el tipo de interés cuando se iguala el VAN a cero.

Ecuación 14

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{Q}{(1 + TIR)^t}$$

Aunque en EXCEL, el VAN y el TIR los resuelve con fórmulas propias.

VAN = VNA (tasa; flujos de caja anuales) – Inversión inicial

TIR = TIR (tasa; inversión inicial; flujos de caja anuales)

7.5.2 ELECCIÓN DE LOS INVERSORES

El conjunto de inversores fija la potencia nominal de la instalación, la cual se calcula como la suma de la potencia de todos los inversores instalados. La potencia del inversor que se instala es del 80- 85% de la potencia total de la instalación [32], dado que la potencia máxima se da bajo la condición STC. Además, se busca que el inversor trabaje a cargas elevadas para así trabajar con un mejor rendimiento. Por ello, con una potencia máxima de instalación de 99.000Wp, requerirá una potencia nominal aproximada de los inversores entre 79.200W (80%) y 84.150W (85%).

Este margen de potencia nominal sobre la potencia máxima de la instalación, se da por varias razones: [32]

- Primero porque sólo se trabaja a la potencia pico en momentos puntuales, lo cual da lugar a que un inversor trabaja normalmente a una potencia inferior al 70% de la potencia pico. Que no se alcance esta potencia pico es debido a que se necesita que la célula esté a una temperatura de 25°C, con una radiación de 1.000W/m² y para obtener esta temperatura de la célula se necesitaría una temperatura exterior de -10 a 0°C.
- Segundo debido a la degradación que sufren los módulos a lo largo de su vida útil, normalmente un 15% tras su vida útil, en este caso 25 años.
- Otras razones que influyen, son las pérdidas producidas por desacoplamiento de módulos en las series, caídas de tensión en conductores y otros factores que puedan reducir la potencia.

Se buscan inversores que tengan una potencia nominal alta para reducir la cantidad de inversores necesarios en la instalación y una garantía de duración más larga, ya que, si se tienen que cambiar varias veces durante la vida útil de la instalación fotovoltaica, aumenta el coste del mantenimiento.

En la página web del proveedor Autosolar, se han considerado los inversores de diferentes marcas con mayor potencia, 15kW, 17,5kW, 20kW, 30kW y 40kW. Para conseguir una potencia del 85% de la que se requiere para la instalación de 166 placas fotovoltaicas, se necesitan varios inversores para la instalación. En este caso, se opta porque el total de los inversores en la instalación sean el mismo modelo, para tener una instalación homogénea.

No se escoge un inversor de 30kW, porque la potencia del conjunto de 3 inversores supera el margen del 85% de la potencia total de la instalación de 166 y con 2 está por debajo del 80%.



- $30\text{kW} \times 3 = 90\text{kW} > 84.150\text{W}$ (85%)
- $30\text{kW} \times 2 = 60\text{kW} < 79.200\text{W}$ (80%)

El inversor de 40kW de la marca Huawei ofrecido por Autosolar, no permite la conexión de un sistema de baterías, opción que permiten los inversores Fronius.

Dentro de las opciones de los inversores que se están comparados, se seleccionarán los inversores de 15kW, 17,5kW y de 20kW.

Los inversores que se instalarán son aquellos de tipo Grid Tie u On-Grid. Este tipo de inversores permiten hacer coincidir con precisión con el voltaje y la fase de la onda sinusoidal de corriente alterna de la red donde se instalan y permiten aportar la energía de las placas solares a la red eléctrica pública.

En este caso las tres opciones son de la marca Fronius, marca líder del sector y que garantiza la compatibilidad con una posterior instalación de baterías.

Datos de los inversores red Fronius:

DATOS DE ENTRADA	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Máxima corriente de entrada (I_{dc} máx. 1 / I_{dc} máx. 2)	33 A / 27 A		
Máxima corriente de entrada total utilizada (I_{dc} máx. 1 + I_{dc} máx. 2)	51,0 A		
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV (MPP ₁ / MPP ₂)		49,5 A / 40,5 A	
Mínima tensión de entrada (U_{dc} mín.)	200 V		
Tensión CC mínima de puesta en servicio (U_{dc} arranque)	200 V		
Tensión de entrada nominal ($U_{dc,r}$)	600 V		
Máxima tensión de entrada (U_{dc} máx.)	1.000 V		
Rango de tensión MPP (U_{mpp} mín. – U_{mpp} máx.)	800 V	370 - 800 V	420 - 800 V
Número de seguidores MPP	2		
Número de entradas CC	3+3		
Máxima salida del generador FV (P_{dc} máx.)	22,5 kW peak	26,3 kW peak	30,0 kW peak
DATOS DE SALIDA	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	15.000 W	17.500 W	20.000 W
Máxima potencia de salida	15.000 VA	17.500 VA	20.000 VA
Máxima corriente de salida (I_{ac} máx.)	21,7 A	25,3 A	28,9 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)	190 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)		
Frecuencia (rango de frecuencia)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Coeficiente de distorsión no lineal	1,5 %	1,5 %	1,3 %
Factor de potencia ($\cos \varphi_{ac,r}$)	0 - 1 ind. / cap.		

Tabla 12 Información técnica de los inversores Fronius de 15, 17,5 y 20kW. Fuente: [39]

SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
2.842,12€	2.968,96€	3.047,14€

Tabla 13 Precios de los inversores. Fuente: [39]

Todos los inversores tienen una misma garantía de 5 años. Es decir que las condiciones de compra y uso son las mismas. Los inversores Fronius, según sus fichas técnicas son unos inversores trifásicos.

Para incluir a los inversores en los cálculos, se utiliza la misma tabla creada para obtener para la de las placas solares, pero se le añade los valores de los inversores. Los cálculos con los valores de los inversores son los siguientes:

- N.^º de placas * potencia por cada placa = Potencia de las placas fotovoltaicas
- Potencia del inversor / (0,85*Potencia de las placas fotovoltaicas) = **N.^º inversores**
- N.^º inversores*Precio del inversor = Resultado de los costes de los inversores
- Resultado + (N.^º de placas*Precio por unidad de las placas) = Inversión inicial de las placas y los inversores.

Teniendo tres diferentes inversores, se compara cual ofrece una rentabilidad mayor. Pero cada instalación estará compuesta por un único modelo de los inversores Fronius, ya que la empresa quiere en un primer momento tener una instalación lo más homogénea posible, para así poder controlar y mantener de la mejor forma posible.

7.5.2.1 INSTALACIÓN ÓPTIMA

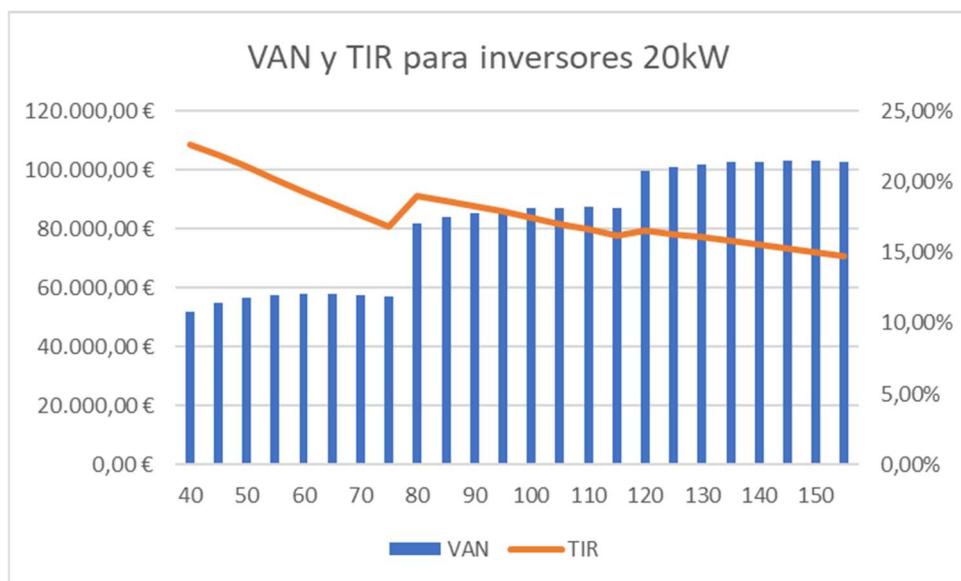
Para el cálculo de la instalación óptima se tiene que realizar el VAN y el TIR. Para ello se necesita conocer la inversión inicial, los flujos de caja y el valor de la tasa de descuento. El valor de la inversión inicial como se ha explicado es la suma de las placas fotovoltaicas, los inversores y el resto de los elementos que permiten el funcionamiento.

Los flujos de caja de cada año, se han explicado en la Tabla 11. La tasa de descuento, esta explicada en el apartado 7.5.1.

El coste de la energía variable con la instalación fotovoltaica, varía dependiendo del ahorro que se produce y la energía excedente que se vende. El coste de la energía contratada es el mismo que sin tener la instalación fotovoltaica, porque habrá horas en las que las placas fotovoltaicas producen menos energía, este coste es de 6.184,02€ para el primer año, ya que por la variación de la inflación y el consumo irá cambiando.

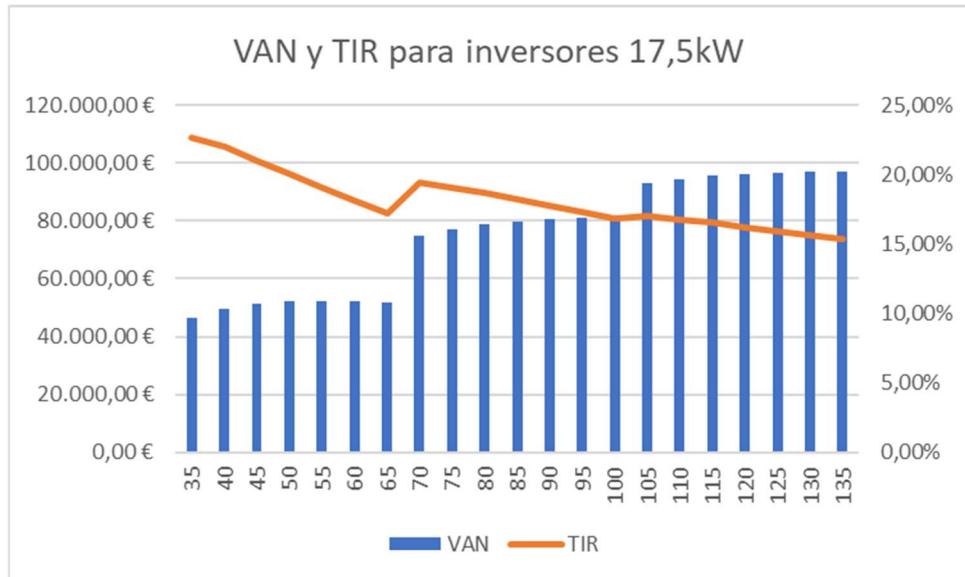
Para una instalación con los inversores Fronius de 20kW, el mínimo de placas fotovoltaicas instalables es de 40. Esto es debido a la intención de tener un inversor con una potencia como máximo del 85% de la que tiene la instalación fotovoltaica instalada, para poder trabajar al máximo rendimiento de los inversores. [32]

De esta manera se va a observar la variación del VAN y del TIR dependiendo de la cantidad de placas instaladas.

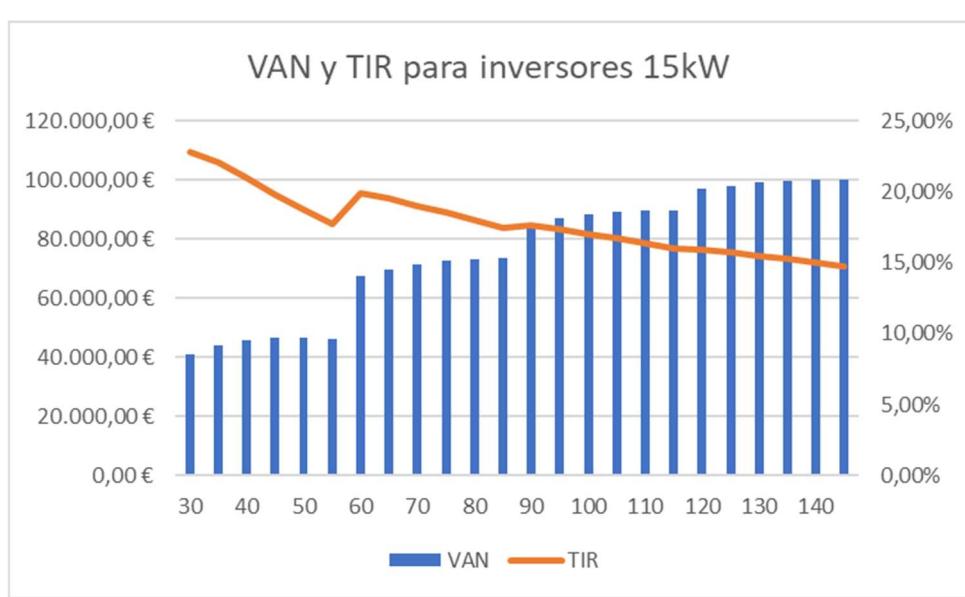


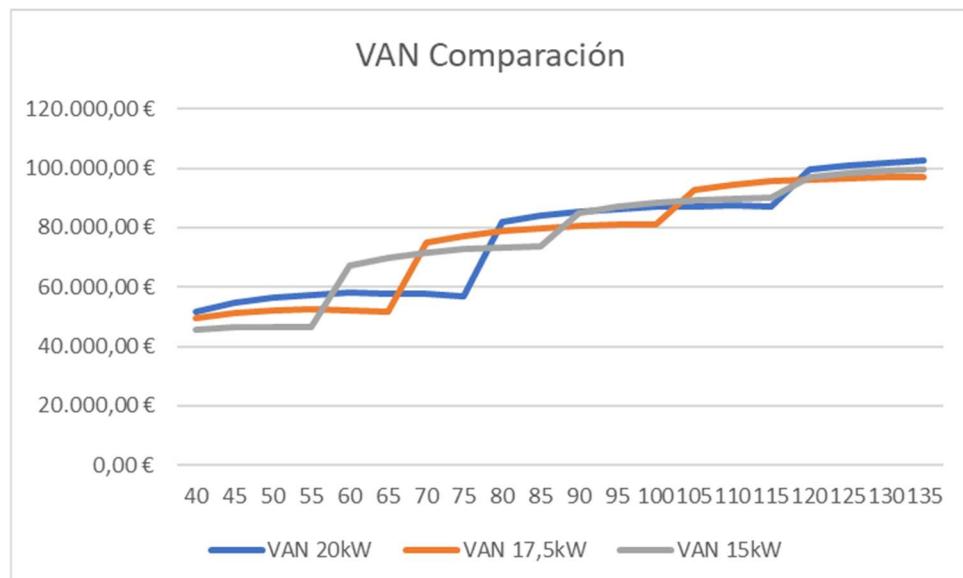
Gráfica 12 VAN y TIR para inversores 20kW.

Para una instalación conformada por inversores Fronius de 17,5kW, el mínimo de placas fotovoltaicas que se pueden instalar es de 35 placas fotovoltaicas, 21kWp. Se va a realizar de la misma manera que el anterior.

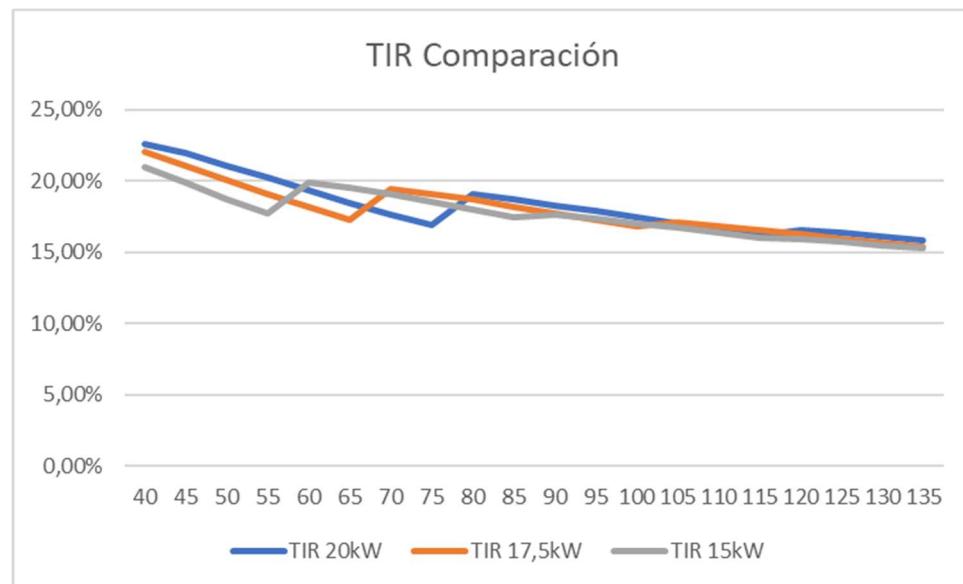


La instalación mínima para 15kW es de 30 placas fotovoltaicas.





Gráfica 15 Comparativo del VAN.



Gráfica 16 Comparativo del TIR.

Observando todas las gráficas (Gráfica 12, Gráfica 13, Gráfica 14), donde varían los resultados del VAN y del TIR dependiendo de las potencias de los inversores, permitirá comenzar con la elección de la cantidad de placas fotovoltaicas y los inversores utilizados. En esta elección se tendrá en cuenta el mayor valor del VAN como también una alta rentabilidad de la instalación, un TIR elevado. Además, todos los saltos tanto del VAN y del TIR, se producen tras un aumento de inversores en la instalación, debido al aumento de la inversión inicial.

Como se muestran en las gráficas, cuando el valor del VAN aumenta, disminuye el valor del TIR, por eso hay que encontrar un punto intermedio entre ambos. Además, este tipo de instalaciones son modulares, es decir, que se pueden ir añadiendo placas fotovoltaicas a las que ya están instaladas, por esta razón, se comenzará con una cantidad de placas que no sea demasiado grande. La empresa tiene interés en que la instalación sea lo más rentable posible.

Para los inversores de 20kW (Gráfica 12), con una cantidad menor de 80 placas fotovoltaicas, cae el valor del VAN casi en 24.000€, a pesar de una rentabilidad mayor. En cambio, el salto del valor del VAN tras las 120 placas fotovoltaicas, es menor, en torno a 12.000€, pero con una rentabilidad menor y una inversión inicial mucho mayor. Por esta razón, para encontrar el equilibrio entre el VAN y el TIR, se va a escoger una instalación con un número de placas fotovoltaicas entre 80 y 115. Entre las cantidades se elegirá la de 80 placas fotovoltaicas, ya que tiene la mayor rentabilidad, del 19%.

Para los inversores de 17,5kW (Gráfica 13), la cantidad de placas con la mejor relación entre el TIR y el VAN se sitúa entre la cantidad de 70 y 100 placas fotovoltaicas, por la misma razón explicada para los 20kW de inversor. El TIR tiene un valor con estas cantidades entre 19,5%-16,8%. Se escogerá la opción de 70 placas fotovoltaicas con una rentabilidad de 19,5%.

Los inversores de 15kW (Gráfica 14) dan como la cantidad que mejor funciona en relación VAN y rentabilidad es 60 y 85 placas fotovoltaicas. El TIR va del 19,9% al 17,5%. En este caso se tomará la instalación de 60 placas fotovoltaicas.

La diferencia del TIR entre la opción del inversor de 20kW respecto a la de 17,5kW, es de 0,5%, es una diferencia pequeña, pero la diferencia del VAN es alta, 7.000€. Por eso, entre estas dos opciones se escoge la instalación de 20kW. El TIR de 15kW es de un 0,9% mayor que la de la instalación de 20kW, pero el VAN tiene una diferencia de 14.500€.

La instalación elegida es de 2 inversores de 20kW y 80 placas fotovoltaicas.

7.5.3 DISPOSICIÓN DE LAS PLACAS SOLARES EN EL TEJADO

Sabiendo las placas fotovoltaicas y los inversores que se van a instalar, se estudia la disposición que tendrán las placas solares en el tejado, además de la cantidad de placas que irán conectados y de qué forma a los inversores.

En cuanto a la disposición de inversores tipo string, todas las placas fotovoltaicas tienen que estar en unas condiciones bastante similares entre sí. Es decir, que tengan un sombreado parecido y una orientación similar. Se da el caso en esta instalación, por lo que se puede utilizar la disposición tipo string.

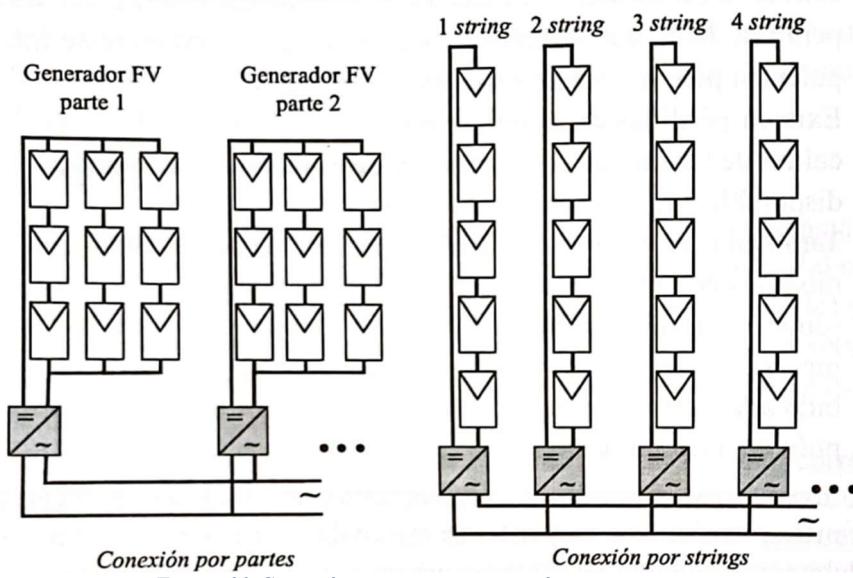


Figura 23 Conexión por partes y conexión por strings.

Para elegir la cantidad de paneles que se van a conectar en serie se tiene en cuenta la conexión de los módulos formando ramas o strings cumplen con las especificaciones técnicas de los inversores que se van a utilizar (Figura 23).

Hay ventajas e inconvenientes que se tienen en cuenta cuando se va a calcular la cantidad de placas que se van a conectar en serie. Si se trabaja con strings cortos, significa que tiene una tensión moderada, pero con una intensidad bastante alta, en caso de un string con muchos paneles en serie, supondrá lo contrario. Un bajo número de módulos en serie, significa que los efectos por sombreados serán menores reduciendo así las pérdidas y la desventaja que presenta es que una corriente alta obliga a utilizar unos cables de mayor sección para reducir así las perdidas.

7.5.3.1 ESTUDIO DE LOS STRINGS

Para el cálculo de la cantidad de módulos máxima que se pueden disponer en serie, se va a utilizar esta fórmula:

Ecuación 15

$$N_{smáx} = \frac{U_{máx}(\text{inversor})}{U_{ca}(-10^{\circ}C)}$$

Siendo:

- $N_{smáx}$; la cantidad máxima de paneles en serie.
- $U_{máx}$; tensión máxima de entrada de cada inversor que indica la ficha técnica del inversor.
- U_{ca} ; tensión en circuito abierto del módulo en condiciones STC a $-10^{\circ}C$.

Para calcular la tensión a esa temperatura del circuito abierto, se necesita de la ficha técnica el valor en STC de la tensión en corriente alterna y la información sobre la variación de tensión con la temperatura (coeficiente β) en porcentaje por cada aumento de grado centígrado respecto a $25^{\circ}C$ (%/°C).

DATOS ficha técnica MÓDULO:

- $U_{ca} = 41,5V$
- $B = -0,25\%/\text{ }^{\circ}C$

Ecuación 16 $U_{ca(-10^{\circ}C)} = (1 + (-10 - 25) * \beta/100) * U_{ca(STC)} = (1 - 35 * \beta/100) U_{ca(STC)} = 45,13V$

Como se observa se obtiene un aumento de casi un 9% respecto a la tensión STC.

DATOS ficha técnica INVERSOR 20kW:

- $U_{máx} = 1.000V$

$N_{smáx} = 1.000V / 45,13V = 22,16$ módulos, es decir, 22 módulos como máximo en serie.

Para calcular la cantidad mínima que se puede disponer en serie, se realiza mediante el cálculo siguiente;

Ecuación 17

$$N_{smín} = \frac{U_{mín}(PMP\text{ inver}.)}{U_{MP}(70^{\circ}C)}$$

Siendo:

- $N_{smín}$: la cantidad mínima de paneles en serie

- $U_{mín}$: tensión máxima de entrada de cada inversor en el punto de máxima potencia
- U_{MPP} : tensión generada por el módulo en el punto de máxima potencia a la temperatura de operación más desfavorable.

DATOS ficha técnica MÓDULO:

- $U_{MPP(STC)} = 34,4V$

DATOS ficha técnica INVERSOR:

- $U_{mín} = 200V$

Para el cálculo de la tensión U_{MPP} se necesita el β y la formula siguiente;

U_{MPP} (módulo a 70 °C) = $(1+45 * \beta/100) * U_{MPP(STC)}$ = 30,53V, produciéndose así una reducción de casi un 13% en la tensión.

$$\text{Ecuación 18} \quad N_{smín} = \frac{U_{mín(PMPinversor)}}{U_{MPP}(70°C)} = \frac{200}{30,53} = 6,55 \text{ módulos}$$

7 módulos mínimo en serie.

Tras conocer la cantidad de módulos en serie puede tener el inversor sin superar sus límites de tensión descritos en la ficha técnica, se comenzará a comprobar la cantidad de strings en paralelo que pueden tener, para que no superen el valor de la intensidad máxima que puede soportar el inversor. Este valor de la intensidad está determinado por la corriente DC de entrada del inversor y la corriente máxima por string.

$$I_{max} = 33 \text{ A, } 27 \text{ A}$$

$$I_{string} = 17,44 \text{ A}$$

$N_{pmax} \leq N_{max}(\text{inversor})$, $33/17,44 \text{ A} = 1,89$ filas, $27/17,44 = 1,548$ filas, es decir que se tendrán 1 string por cada una de las MPP de los inversores.

El número de **módulos en serie es entre 7 a 22 módulos**, 2 MPP por cada uno de los inversores y se tiene en disposición 4 inversores. Por ello el número máximo de módulos por cada uno de los **inversores es de 44 módulos** y el máximo entre los cuatro inversores es de 176 módulos.

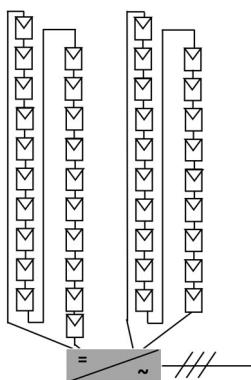


Figura 24 Conexión de los paneles en strings de 19 módulos y de 20 módulos al inversor.

Teniendo en cuenta la cantidad de placas solares que puede albergar cada una de las superficies, y que son 80 placas fotovoltaicas y 2 inversores de 20kW, se comienza con la distribución de los strings.

La disposición de los strings en los cuatro inversores es (Figura 32):

- Dos filas de 20 módulos en la Superficie 1 (verde).
- Dos filas de 20 módulos en la Superficie 2 (naranja).

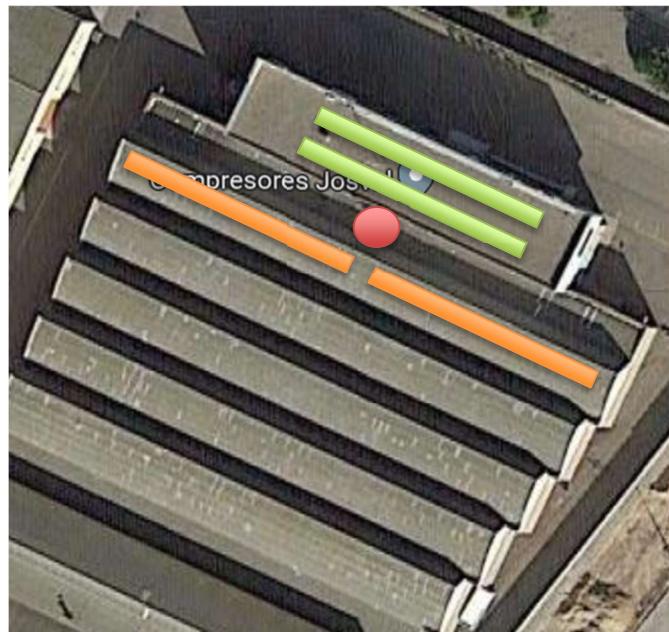


Figura 25 Disposición de las placas sobre la superficie del tejado. Realizado a partir de la Fuente: [27]

Para facilitar el mantenimiento de la instalación, se tiene un armario donde están todos los inversores juntos y cada uno con su propio sistema de seguridad. Este armario se localizará entre la zona de las oficinas de la nave industrial y la zona de la fábrica, punto rojo de la Figura 25.

7.5.4 ESTRUCTURA SOPORTE DE LAS PLACAS SOLARES

Para una estructura soporte de las placas solares, hay que tener en cuenta el tamaño de la placa solar, ya que las estructuras tienen diferentes tamaños dependiendo las dimensiones de las placas. En este caso se tiene una anchura de 1.303mm que en este caso es la medida más importante ya que la longitud se puede ajustar mediante los raíles.



Figura 26 Dimensiones de la placa fotovoltaica. Fuente: [28]

Para seleccionar las diferentes estructuras se tiene que tener en cuenta el clima que existe en Zaragoza. Por ello, la estructura soporte tiene que resistir las sobrecargas de viento y de nieve, según la normativa básica de la edificación NBE-AE-88. La estructura soporte será calculada según la norma MV-103 para soportar las cargas extremas debidos a los factores climatológicos adversos como el viento y la nieve.

También tiene que tener en cuenta las dilataciones térmicas y evitando así cargas que se puedan producir, tema que en la estructura elegida ya se tiene en cuenta porque no permite tener una estructura mayor de 20m. Se tiene que observar los puntos de sujeción de los módulos para que sean suficientes en número y se tiene que tener en cuenta el área de apoyo.

Tras la realización de taladrados en la estructura se tienen que realizar tratamientos que la protejan como galvanizado o protección general de la estructura. La tornillería tiene que cumplir la normativa MV-106 y será realizada en acero inoxidable, en este caso todos los tornillos están ya incluidos en la compra de la estructura. Al comprar los productos al proveedor, este tiene la obligación de cumplir todas estas normativas ya que está en el marco jurídico español, de otra manera no podría vender dichos productos.

Conociendo las dimensiones se tiene una estructura soporte en el mercado que pueda ser utilizado y comenzando con las estructuras sobre una superficie inclinada, se elegirá un sistema PS, que permite tener paneles solares de hasta 1350mm de anchura, la cual es mayor que la que tiene el panel solar instalado. Pero para instalar las placas solares hay que tener en cuenta la configuración que permite la estructura soporte elegida. Como se observa se puede tener como máximo 20m de estructura, debido a que una mayor longitud de estructura causaría problemas con la dilatación.

EJEMPLOS DE CONFIGURACIÓN

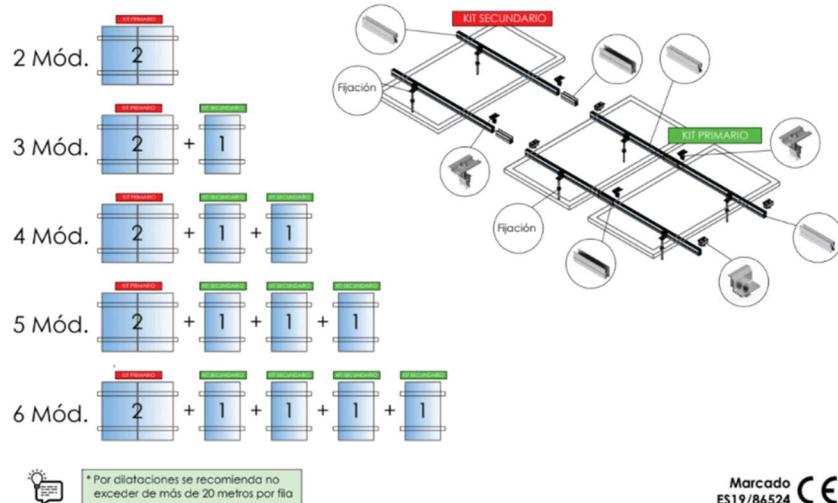


Figura 27 Ejemplos de configuración de la estructura soporte. Fuente: [52]

Hay dos tipos de kits, el primario y el secundario, el primario es el kit que permite tener dos paneles en la estructura y el secundario únicamente uno. Para realizar un conjunto de kits, siempre es necesario tener un kit primario y luego para conseguir espacio para más módulos solares se añadirán kits primarios. A continuación, se muestran kits primarios y secundarios que han sido seleccionados. Además, dichas estructuras aguantan vientos de hasta 150km/h, viento que no se supera en Zaragoza, España, y sobre la nieve por el clima que hay en Zaragoza es muy raro que ocurra.



Figura 28 Estructura soporte 02VPS1 y 02VPS2, sistema PS para módulos gran formato primario. Fuente: [52], [53]

ESTRUCTURA	PRECIO (Con IVA)
02VPS1	87,27€/Ud
02VPS2	43,12€/Ud

Tabla 14 Estructuras y sus precios. Fuente: [52], [53]

Para la superficie 1, la cual es una superficie plana y las estructuras soportes no se pueden utilizar los soportes anteriores. Para las estructuras inclinadas sobre una superficie plana, se tiene en cuenta el viento fuerte y constante que hay en la región de Aragón. Por lo tanto, se va a instalar una estructura resistente a estas fuerzas.

En este caso la estructura elegida es el producto de pretensados Duran de fabricación nacional, Solarbloc. En el pdf que explica sus productos no representa todos los diferentes ángulos que puede tener. El ángulo de inclinación que se necesita es el de 27º.



Figura 29 Estructura soporte Solarbloc 27° para 4 módulos. Fuente: [54]

Teniendo en cuenta que hay 2 filas de 20 módulos solares, se necesitaran 10 kits de estructuras de hormigón Solarbloc 27°.

Nº estructuras	Nombre estructura	Precio estructura	Precio total de las estructuras
8	Estructuras soporte primarias 02VPS1	87,27€	698,16€
24	Estructuras soporte secundarias 02VPS2	43,12€	1.034,88€
40	Estructura soporte Solarbloc 27°	72,71€	2.908,10€
TOTAL			4.641,14€

Tabla 15 Estructuras necesarias y su precio.

7.5.5 CABLEADO DE LA INSTALACIÓN DE LAS PLACAS SOLARES EN LOS STRINGS Y LOS INVERSORES

Se tiene en cuenta que para calcular la cantidad de cable y de qué tipo es necesario, muchos ya están incluidos en la compra de los componentes.

Pero los cables de conexión de la red al inversor y del inversor a los strings, no están incluidos. Tampoco se encuentra incluido el cable que conecta las placas solares a los strings. Los cables que no se incluyen en el suministro de la compra de los componentes, pero son necesarios, son los que conectan la red pública con el kit medidor de corriente.

Por ello, se definen las medidas de los cables que conectan los strings con el inversor.

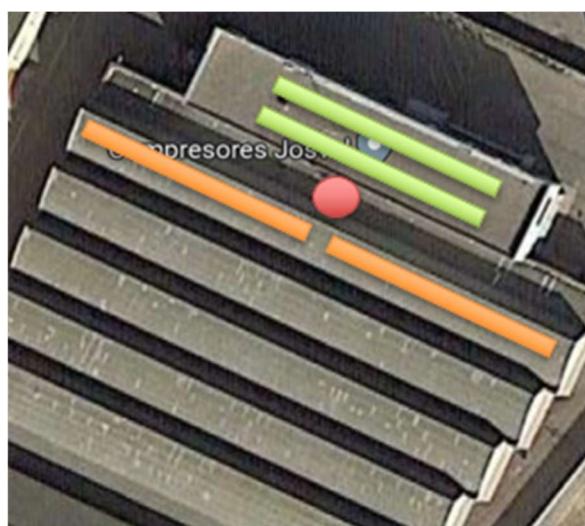


Figura 30 Disposición de las placas sobre la superficie del tejado. Realizado a partir de la Fuente: [27]

Hay que considerar las dimensiones de las filas de las placas solares para calcular la cantidad de cable necesario. La anchura de las placas solares es de 1,303m y son 20 placas solares por cada de los diferentes strings:

- 20 módulos: $20 \times 1,303 = 26,06\text{m}$ +2m de margen = 28m

Se necesita cable para conectar la última placa solar de los strings con los inversores. Para el cálculo de la distancia de los strings hasta los inversores, hay que considerar la forma del tejado. Ver la Figura 31.

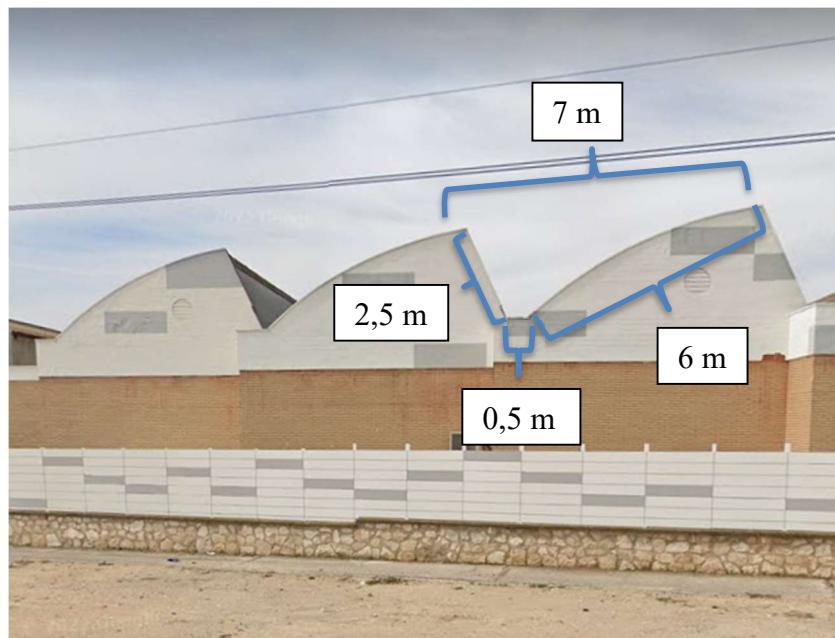


Figura 31 Perfil de la superficie del tejado con las medidas. Realizado a partir de la Fuente: [27]

Como se observa en la Figura 31, se requiere para ir de una superficie a otra:

- $6\text{m} + 2,5\text{m} + 0,5\text{m} = 9\text{m} + 1\text{m de margen} = 10\text{m}$.

Los metros de cable de las cajas de los strings a los inversores son:

- Superficie 2: 20m (cable superficie 3) - 10m (la longitud de cable de una superficie) = **10m**
- Superficie 1:
 - **10,5m** para el string más alejado del armario de los inversores.
 - **6,5m** para el string más cercano del armario de los inversores.



Figura 32 Medidas de los strings hasta los inversores. Fuente: [27]

Cada string requiere adicionalmente un cable de ida y otro de vuelta de la entre el string y el inversor. En esta tabla aparece la longitud de los cables del final de los strings a los inversores y la longitud de los strings sumados, esto es así porque tienen la misma característica los cables.

SUPERFICIE	Nº MÓDULOS	LONGITUD CABLE
1	20	59m
1	20	41m
2	20	48m
2	20	48m

Tabla 16 Longitud de los cables del inversor.

7.5.5.1 DIMENSIONADO DE LA SECCIÓN DE LOS CABLES

La elección de las secciones inadecuadas para una instalación, puede producir incremento de las pérdidas o sobrecalentamiento de los cables, que puede causar daños en el aislamiento del conductor y la degradación de la vida útil.

Este sistema de cableado tiene que satisfacer los siguientes criterios para que la instalación trabaje al máximo rendimiento:

- La tensión de aislamiento o tensión asignada igual a 0,6/1kV para los tramos de AC y 1,8kV para los tramos de DC.
- La corriente admisible permanente, IZ .
- La caída de tensión, ΔV .

Para la elección de qué tipo de cable se necesita hay que tener en cuenta que la instalación fotovoltaica está dividida en dos tramos eléctricos, una zona de corriente continua que es la que va desde los strings hasta el inversor y la zona de corriente alterna que va desde el inversor, donde se produce la conversión CC/CA, la cual está conectada con la red pública. Se tendrá en cuenta la caída de tensión que se produce en los cables (ΔV), ya que todos tienen un valor de resistividad (ρ), la cual está relacionado con la longitud de cable (L) y su sección (S), definida de la siguiente forma:

Ecuación 19

$$\Delta V = I \rho \frac{L}{S} = I * \frac{L}{\rho S}$$

Material	$\gamma_{20^\circ\text{C}} (\text{S m/mm}^2)$	$\gamma_{70^\circ\text{C}} (\text{S m/mm}^2)$	$\gamma_{90^\circ\text{C}} (\text{S m/mm}^2)$
Cobre (Cu)	56	48	44
Aluminio (Al)	35	30	28

Tabla 17 Conductividad del cobre y del aluminio a distintas temperaturas

Como se observa en la tabla anterior, se va a escoger los cables de cobre ya que la conductividad a cualquier temperatura es mayor que la del aluminio y tendrán un recubrimiento de XLPE.

7.5.5.1.1 CÁLCULO DEL TRAMO DE CABLE DE CORRIENTE CONTINUA

Para conocer el dimensionamiento de la sección de los cables se tendrá en cuenta la corriente admisible permanente, se tomará un valor para los cálculos de un 125% de la intensidad de cortocircuito del módulo seleccionado.

Ecuación 20

$$IZ \geq 1,25 * ISC = 1,25 * 18,52A = 23,15A$$

A esta corriente admisible permanente se le va a aplicar un factor de corrección para agrupaciones de varios circuitos, además irán dispuestos sobre bandejas perforadas.

Ref	Disposición cables contiguos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1	Agrupados en una superficie empotrados o embutidos	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
2	Capa única sobre pared, suelo o superficie sin perforar	1,00	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	Sin reducción adicional para más de 9 circuitos o cables multiconductores		
3	Capa única en el techo	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65	0,60	0,60			
4	Capa única en una superficie perforada vertical u horizontal	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,75	0,75	0,70	0,70			
5	Capa única con apoyo de bandeja escalera o abrazaderas (collarines), etc.	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80			

Tabla 18 Factor de corrección debido a diferentes características de los cables. Fuente: [65]

Teniendo en cuenta la tabla anterior y que los circuitos son de capa única en una superficie perforada vertical u horizontal de tipo E y F, se le aplicará un factor de corrección igual a 0,7.

Ecuación 21

$$IZ \geq 1,25 * Fcorr = \frac{23,15}{0,7} = 33,07A$$

Sección	Tipo de instalación		
	Al aire 60°C	Sobre superficie	Adyacente a superficie
(mm ²)	(A)	(A)	(A)
1,5	30	29	24
2,5	41	39	33
4	55	52	44
6	70	67	57
10	98	93	79
16	132	125	107
25	176	167	142
35	218	207	176

Tabla 19 Corriente máxima por cada una de las secciones de los cables. Fuente: [65]

Teniendo en cuenta que se tiene que tener una intensidad 33,07A, además se sabe que están los cables sobre la superficie del tejado. Sabiendo estos ambos valores, y observando en la tabla anterior, se va a escoger la sección 2,5mm² según la especificación EA 0038 o Norma UNE-EN 50618:2015, ya que según la tabla admite hasta 39A.

La sección que se ha obtenido de la Tabla 19 es la sección óptima para una baja longitud del cable, pero si esta longitud aumenta la caída de tensión aumenta. Por ello, el cable que une los strings más alejados de los inversores debe tener una sección mayor al resto ya que tiene una caída de tensión mayor.

Se tendrá que tener en cuenta el criterio de la caída de tensión máxima admisible, según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red del IDAE, la sección de los conductores debe asegurar que la caída de tensión no superará el 1,5% para cualquier condición de trabajo. En el caso de la sección que se está buscando en este apartado, se va a imponer una caída de tensión máxima del 0,5%. La longitud de cable que se tomará es la más larga que haya, la que va desde el inversor y la suma de la longitud de cable de un string.

Ecuación 22

$$S = \frac{2 * Lrama * ISC}{\gamma 20^\circ C * \Delta Vcc * Nmod, s * Vmod, s} = \frac{2 * Lrama * 18,52A}{56 * 0,005 * 20 * 41,7}$$

Para el dimensionado del cableado, se necesita sobredimensionarlo, ya que se necesita una sección inmediatamente superior, es la sección se obtiene una caída de tensión en el tramo de corriente continua igual a:

Ecuación 23

$$\Delta Vcc = \frac{2 * Lrama * ISC}{\gamma 20^\circ C * S * Nmod, s * Vmod, s} = \frac{2 * Lrama * 18,52A}{56 * Sección * 20 * 41,7}$$

Módulos	Longitud cable	Sección	Sección final	ΔV
20	59m	9,36mm ²	10mm ²	0,46%
20	41m	6,5mm ²	10mm ²	0,32%
20	48m	7,62mm ²	10mm ²	0,38%
20	48m	7,62mm ²	10mm ²	0,38%

Tabla 20 Resumen cables de la instalación.

Como se observa, la caída de tensión es menor que 1,5%, es decir, que es aceptable.

De esta forma los cables utilizados serán del fabricante Prysmian Group o similar, del tipo AFUMEX CLASS 1000 V (AS).[64] **196m** de longitud de cable de **10mm² AFUMEX CLASS 1000V**.



7.5.5.1.2 CÁLCULO DEL TRAMO DE CABLE DE CORRIENTE ALTERNA

Para calcular las dimensiones de los cables de corriente alterna desde el inversor hasta la caja de seguridad de los inversores, se debe conocer la cantidad de corriente máxima aporta el inversor:

Ecuación 24

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} = \frac{20000}{\sqrt{3} * 400V} = 28,8A$$

Donde:

- P: Máxima potencia trifásica generada por el inversor (W) = 20kW
- U: Tensión máxima de línea (V) = 400V.
- $\cos\varphi$: Factor de potencia de la corriente inyectada por el inversor, el inversor da un valor entre 0,85-1°, se escoge 1°.

Tal y como se hizo para el cálculo de la corriente continua, el cableado debe de soportar 1,25 veces la corriente máxima otorgada por el inversor.

Ecuación 25

$$IZ \geq 1,25 * ISC = 1,25 * 28,8A = 36A$$

Además, se le aplicara el mismo factor de corrección que para los cables de corriente continua:

Ecuación 26

$$IZ \geq 1,25 * F_{corr} = \frac{36}{0,7} = 51,43A$$

El montaje trifásico en bandeja perforada tipo F permite con **6mm²** de sección de cable cumplir con la norma UNE 20460-5-523:2004 del ITC BT 19.

Sección	Método de instalación C				Método de instalación E				Método de instalación F			
	2x	3x	2x	3x	2x	3x	2x	3x	2x	3x	2x	3x
	XLPE	PVC	XLPE	PVC	XLPE	PVC	XLPE	PVC	XLPE	PVC	XLPE	PVC
1,5	21	16	18	15	24	18	21	16	-	-	24	-
2,5	29	22	25	21	33	25	29	22	-	-	33	-
4	38	30	34	27	45	34	38	30	-	-	45	-
6	49	37	44	36	57	44	49	37	-	-	57	-
10	68	52	60	50	76	60	68	52	-	-	76	-
16	91	70	80	66	105	80	91	70	-	-	105	-
25	116	88	106	84	123	106	116	88	-	-	123	96
35	144	110	131	104	154	131	144	110	-	-	154	119
50	175	133	159	125	188	159	175	133	-	-	188	145
70	224	171	202	160	244	202	224	171	-	-	244	188
95	271	207	245	194	296	245	271	207	-	-	296	230
120	314	240	284	225	348	284	314	240	-	-	348	267
150	363	278	338	260	404	338	363	278	-	-	404	310
185	415	317	386	297	464	386	415	317	-	-	464	354
240	490	374	455	350	552	455	490	374	-	-	552	419
300	565	423	524	404	640	524	565	423	-	-	640	484

Tabla 21 Secciones de los cables con sus diferentes recubrimientos. Fuente: [65]

La longitud del cable será de máximo de dos metros por cada inversor, ya que en la zona donde se van a instalar se va a situar el cuadro de mando de la instalación fotovoltaica.

Ecuación 27

$$\Delta Vca, 1 = \frac{\sqrt{3} * Lcable * Iz}{\gamma 20^\circ C * S * Vinv, ac} = \frac{\sqrt{3} * 2m * 33,06A}{56 * 6 * 400} = 0,085\%$$

Se necesitan **8m** de cable de corriente alterna **AFUMEX CLASS 1000V 6mm²**.

Para las dimensiones del siguiente cable, el que conecta la caja de seguridad del conjunto de inversores con el transformador, se debe calcular la corriente máxima que va a pasar por el:

Ecuación 28

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cosy} = \frac{40000}{\sqrt{3} * 400V} = 57,74A$$

Tal y como se hizo para el cálculo de la corriente continua, el cableado debe de soportar 1,25 veces la corriente máxima otorgada por el inversor.

Ecuación 29

$$IZ \geq 1,25 * ISC = 1,25 * 57,74A = 72,17A$$

Además, se le aplicara el mismo factor de corrección que para los cables de corriente continua:

Ecuación 30

$$IZ \geq 1,25 * Fcorr = \frac{72,17}{0,7} = 103,10A$$

El montaje trifásico en bandeja perforada tipo F permite con **25mm²** de sección de cable cumplir con la norma UNE 20460-5-523:2004 del ITC BT 19.

En este caso los contadores se encuentran a una distancia algo mayor que en el anterior caso, ya que se tendrá que unir al transformador que tiene la propia empresa, zona en donde entra toda la energía de la empresa. Tal y como se observa, si se pega el cable a la pared se tendrá mínimo 54m de cable, pero se necesitará cierto margen que en nuestro caso serán de 5m, para dar un total de 59m de cable 3F (Figura 33).

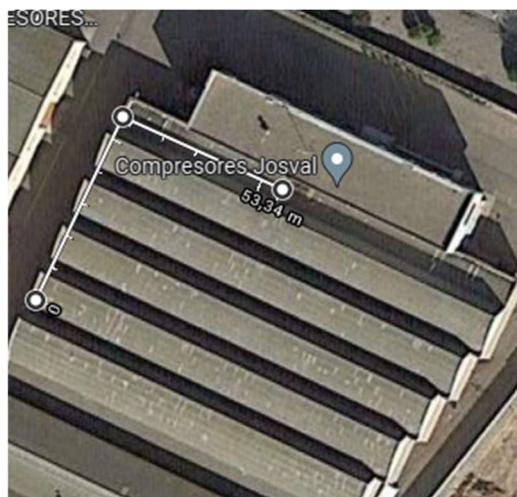


Figura 33 Superficie del tejado con las medidas del cable. Fuente: [27]

Ecuación 31

$$\Delta Vca, 1 = \frac{\sqrt{3} * Lcable * Iz * \cosy}{\gamma 20^\circ C * S * Vinv, ac} = \frac{\sqrt{3} * 59m * 66,27A}{56 * 70 * 400} = 0,43\%$$

Se necesitan **59m** de cable de corriente alterna **AFUMEX CLASS 1000V 25mm²**.



7.5.6 PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

A continuación, se desglosa el equipamiento y materiales necesarios para la instalación fotovoltaica indicando el precio de los distintos elementos.

PRESUPUESTO INSTALACION FOTOVOLTAICA				
Descripción	Medición	Ud	Precio unitario (€)	Subtotal (€)
Suministro e instalación de módulos de Trina Solar, Vertex TSM-DE20 585-605W	80	Ud	295,2	23.616
Suministro e instalación de Inversor Red FRONIUS Symo 20-3-M light 20kW	2	Ud	3047,14	6.094,28
Conectores rápidos para conexión entre módulos	160	Ud	1,95	312
Suministro e instalación de cableado eléctrico del inversor a la caja de seguridad de los inversores.	4	m	8,78	35,12
Cable AFUMEX CLASS 1000 V, 1,8kV A.C, 6mm ²				
Suministro e instalación de cableado eléctrico de la caja de string al inversor.	196	m	0,9	176,40
Cable AFUMEX CLASS 1000 V, 1,8kV D.C, 10mm ²				
Suministro e instalación de cableado eléctrico de la caja de seguridad de los inversores a la caja de seguridad con la red eléctrica.	59	m	8,7	513,3
Cable AFUMEX CLASS 1000 V, 1,8kV A.C, 25mm ²				
Suministro y montaje de caja, cable y picas de cobre desnudo de dimensiones apropiadas para conexión equipotencial de la instalación.	1	Ud	275	475,00
Sistema PS para módulos gran formato Primario 02PVS1	8	Ud	87,27	698,16
Sistema PS para módulos gran formato Secundario 02PVS2	24	Ud	43,12	1.034,88
Estructura de hormigón SolarBloc 27º para 4 módulos	40	Ud	72,71	2.908,40
Suministro e instalación de líneas de vida, barandillas y escaleras.	1	Ud	600	600
Suministro e instalación de	30	Ud	9,27	278,1

canalización de líneas de CA desde el Inversor hasta cuadro de interconexión.				
Suministro e instalación de canalización de líneas de CC desde el generador FV hasta inversor	196	Ud	8,23	1.613,08
Caja Estanca Exterior Electrónica IP65, 8 Módulos	2	Ud	18,99	37,98
Electric Interruptor diferencial industrial TIPO AC 2 Polo 4	8	Ud	17,5	140
Contador de corriente alterna Reltech RWDZ2	3	Ud	42,71	128,13
TOTAL				38.460,83€

Tabla 22 Presupuesto Instalación fotovoltaica de modalidad de autoconsumo con excedentes.

El resultado de 39.260,83€€, es el coste de la instalación fotovoltaica más optima. Esta inversión tiene incluido el IVA correspondiente a cada producto.

En esta lista se incluyen los elementos calculados con anterioridad como las placas solares, inversores, los cables tanto de corriente continua como de corriente alterna y la estructura soporte necesaria. Pero se han incluido también otros elementos como:

- Los conectores entre los módulos, en este caso 160 unidades, 2 por cada uno de los módulos.
- Elementos que permiten realizar mantenimientos, como una escalera, barandillas y líneas de vida.
- Elementos de canalización tanto de elementos de CA y CC
- 1 cajas de seguridad donde están todos los inversores conectados a su propia seguridad y luego uno para los cuatro inversores.
- 1 caja de seguridad para la conexión de la instalación al transformador como a los contadores de electricidad.
- Montaje del sistema de conexión equipotencial de la empresa.
- 4 contadores CA que permite ver la energía que generada cada uno de los inversores para detectar problemas en la instalación.
- 1 contadores CA para controlar la energía total generada por la instalación.

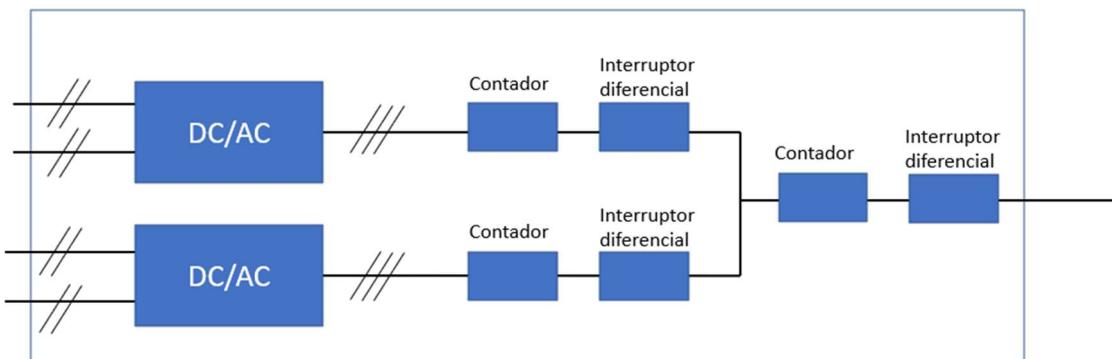


Figura 34 Esquema del armario de los inversores y los sistemas de protección.

La Figura 34 representa el armario de los inversores con las conexiones de los MPP con los strings. También se observa los interruptores diferenciales y los contadores que tiene la instalación.

7.5.7 RESULTADOS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE MODALIDAD DE AUTOCONSUMO CON EXCEDENTES

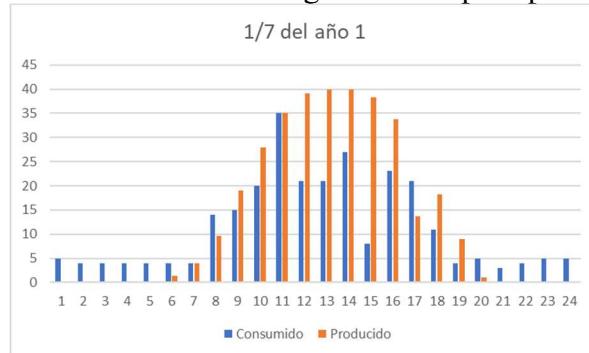
Conociendo el total del presupuesto de la instalación, 38.460,83€, el cálculo del VAN y el TIR es el siguiente.

Para realizar este cálculo, se utilizan las mismas tablas de EXCEL que en el apartado 7.5.2 y con el mismo procedimiento para obtener la instalación más optima. La diferencia, es que se añade el coste de los elementos que completan la instalación, a parte de los inversores y las placas fotovoltaicas como se tenía en la introducción del apartado 7.5. Estos elementos son los especificados en la Tabla 22, como elementos de seguridad, cables de CC y CA, contadores de la corriente, etc.

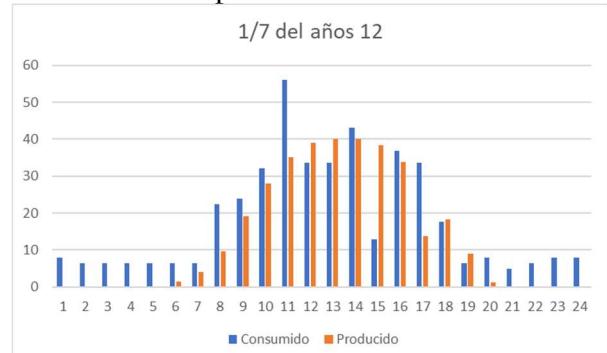
Los elementos de la instalación que no son los inversores, ni las placas fotovoltaicas, dan lugar a una suma total de 8.750,55€.

La instalación se amortizará en 6 años, con un VAN y un TIR de 81.315,31€ y 19% (Tabla 23).

Este resultado del VAN y del TIR son positivos para realizar la instalación fotovoltaica explicada, por eso se recomienda la puesta en marcha del proyecto. Además, los 6 años de amortización es un argumento de peso por ser cercano en el tiempo.



Gráfica 17 Consumo vs Producido 1/7 del año 1.



Gráfica 18 Consumo vs Producido 1/7 del años 12.



Gráfica 19 Consumo vs Producido 1/7 del años 25.



En las gráficas Gráfica 17, Gráfica 18 y Gráfica 19 se observa la relación durante los años de los consumido y los producido por la instalación fotovoltaica. Teniendo en cuenta que el consumo aumenta durante los años debido a que la empresa tiene un crecimiento económico, afectando al consumo. Se observa que las curvas son parecidas entre sí y no están sobredimensionadas ninguna sobre la otra.

Tasa de descuento	4,89%	VAN25	81.315,31 €	Impuesto de sociedades	25,00%
Tasa de inflación	2,68%	TIR25	19%	IPC (actual)	2,68%
Tipo de interés	1,10%				
Prima de riesgo	1,11%				

Tabla 23 Tasa de descuento, VAN y TIR e Impuesto sobre sociedades.

7.5.7.1 AYUDAS DE LA DELEGACIÓN GENERAL DE ARAGÓN

Las actuaciones subvencionables, reguladas en el artículo 6 del citado Real Decreto, así como en su Anexo IV, que, en todo caso, deberán realizarse en establecimientos ubicados en la Comunidad Autónoma de Aragón, son las siguientes:

- a) Actuación 1: Mejora de la tecnología en equipos y procesos industriales.
- b) Actuación 2: Implantación de sistemas de gestión energética.

El plazo de solicitudes finaliza el **30 de junio de 2023**, de acuerdo con el Real Decreto 440/2021, de 22 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 263/2019, de 12 de abril.

La cuantía máxima de las ayudas a las que se refiere el artículo 7 del Real Decreto 263/2019, de 12 de abril será, para cada una de las actuaciones, la menor de las tres siguientes:

- a) El 30% de la inversión elegible del proyecto, y con los límites particulares que para cada tipología de actuación se indican en el anexo IV de estas bases.
- b) La cuantía máxima que, en función de la región donde radique el proyecto y tipología de empresa promotora, se establece para actuaciones de eficiencia energética en el artículo 38 del Reglamento (UE) n.º 651/2014, de 17 de junio de 2014. Para este límite se tendrán en cuenta cualesquiera otras ayudas percibidas para la misma finalidad. El cuadro siguiente muestra los porcentajes aplicables con carácter general que se aplicarán sobre el coste subvencionable:

Con carácter general

Gran empresa	Mediana empresa	Pequeña empresa
30 %	40 %	50 %

Figura 35 Porcentaje de ayuda sobre el total de la inversión en energías verdes de empresas grandes, medianas y pequeñas. Fuente: [67]

- c) La cuantía máxima de ayuda por solicitud que será fijada por las comunidades autónomas y ciudades de Ceuta y Melilla en sus respectivas convocatorias en función de su presupuesto



Comunidad/Ciudad Autónoma	Presupuesto - Euros
Andalucía.	73.778.059,68
Aragón.	10.562.941,35
Asturias, Principado de.	4.779.747,67
Baleares, Illes.	1.602.277,30
Canarias.	2.580.302,51
Cantabria.	4.105.555,15
Castilla y León.	32.362.793,24
Castilla-La Mancha.	9.930.916,48
Cataluña.	49.493.353,71
Comunitat Valenciana.	31.191.038,12
Extremadura.	2.032.533,55
Galicia.	16.629.395,16
Madrid, Comunidad de.	23.730.319,46
Murcia, Región de.	21.850.472,58
Navarra, Comunidad Foral de.	4.688.201,42
País Vasco.	15.321.804,01
Rioja, La.	2.865.733,89
Ceuta.	74.665,11
Melilla.	64.795,60
Total.	307.644.906,00

Tabla 24 Presupuesto total para ayudas a las empresas por cada una de las comunidades autónomas. Fuente: [67]

La comunidad autónoma de Aragón se encuentra dentro de la normativa de ayudas de carácter general. Compresores JOSVAL podrá optar a tener una ayuda máxima de un 40% del total de la inversión que se va realizar para la instalación, esto es debido a que es una empresa mediana.

7.5.8 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

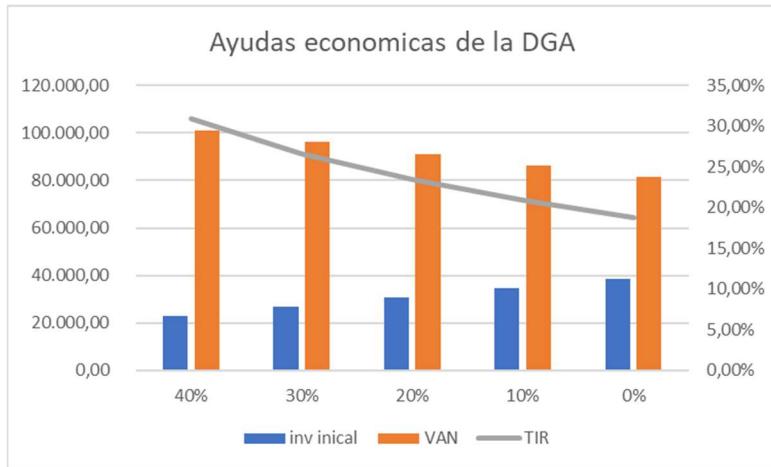
En este análisis de sensibilidad, se analizará dependiendo de la ayuda que se recibe del gobierno de Aragón, como variará el VAN, el TIR y la amortización de la instalación. Si aumenta el precio de la inversión inicial un cierto porcentaje, por lo tanto, el mantenimiento anual será mayor.

También se comprobará como afecta a la instalación que el precio de la electricidad en vez de ser el actual sea un 10%, 20% o un 30% mayor.

En el caso de que aumente el porcentaje de la inflación, se realizará otro análisis de sensibilidad

Si a la instalación se le puede aplicar un descuento máximo de la inversión inicial, significa que no siempre la ayuda económica recibida es esa. Por ello se va a comprobar la variación del VAN y del TIR dependiendo de la ayuda económica recibida.

TFG INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN UNA NAVE INDUSTRIAL DEL POLÍGONO DE MALPICA

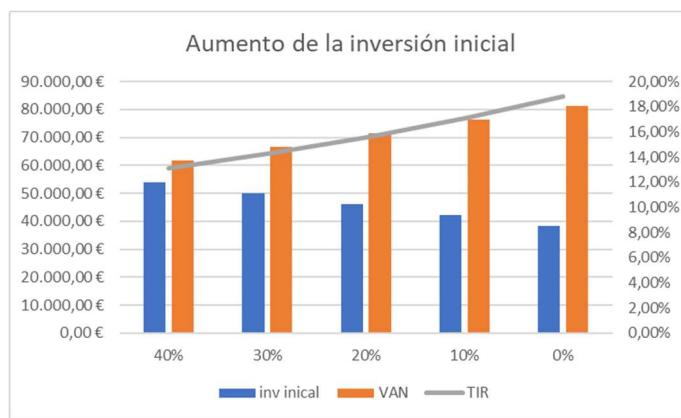


Gráfica 20 Ayudas económicas de la DGA.

%AYUDAS	inv inical	VAN	TIR
40%	23.076,50 €	100.920,92 €	30,87%
30%	26.922,58 €	96.019,52 €	26,66%
20%	30.768,66 €	91.118,11 €	23,44%
10%	34.614,75 €	86.216,71 €	20,89%
0%	38.460,83 €	81.315,31 €	18,80%

Tabla 25 Ayudas económicas de la DGA.

Con un aumento del precio de la inversión inicial, debido a un encarecimiento de los costes de los materiales, estos serían los resultados:



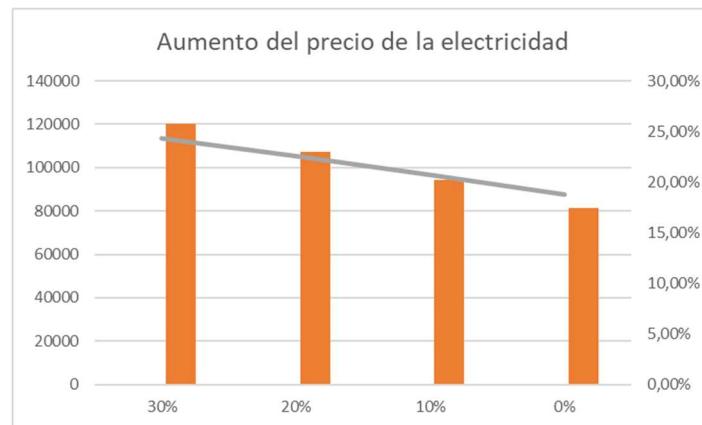
Gráfica 21 Aumento de la inversión inicial.

%+inv.inicial	inv inical	VAN	TIR
40%	53.845,16 €	61.709,71 €	13,11%
30%	49.999,08 €	66.611,11 €	14,26%
20%	46.153,00 €	71.512,51 €	15,55%
10%	42.306,91 €	76.413,91 €	17,05%
0%	38.460,83 €	81.315,31 €	18,80%

Tabla 26 Aumento de la inversión inicial.

Para observar el comportamiento de la instalación en el caso de que el precio de la electricidad aumente, se han realizado la siguiente gráfica:

TFG INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN UNA NAVE INDUSTRIAL DEL POLÍGONO DE MALPICA

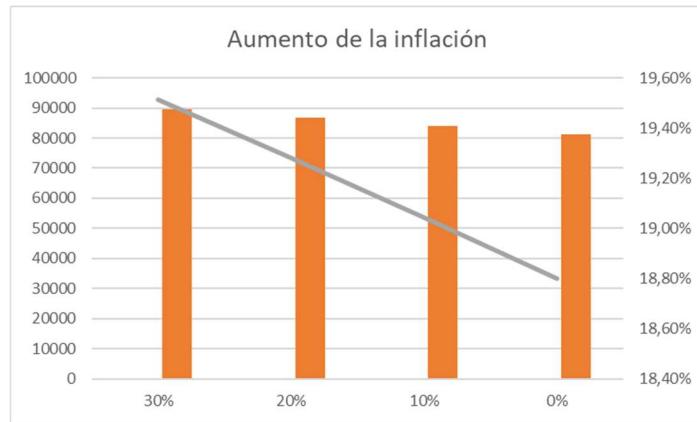


Gráfica 22 Aumento del precio de la electricidad.

%+precio elec.	VAN	TIR
30%	120.414,11 €	24,35%
20%	107.381,18 €	22,53%
10%	94.348,24 €	20,68%
0%	81.315,31 €	18,80%

Gráfica 23 Aumento del precio de la electricidad.

Otro factor importante para observar, es el aumento de la inflación:



Gráfica 24 Aumento de la inflación.

%+inflación	VAN	TIR
30%	89.424,64 €	19,51%
20%	86.736,80 €	19,28%
10%	84.048,95 €	19,04%
0%	81.315,31 €	18,80%

Tabla 27 Aumento de la inflación.

8. INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE BATERÍAS ADICIONAL A LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Teniendo ya una instalación fotovoltaica compuesta de 157 placas solares y 4 inversores, se evalúa si un subsistema de almacenamiento basado en baterías aumentaría la rentabilidad, ya que el coste de comprar energía es más alto que los ingresos de venta la energía excedente a la red eléctrica. Es decir, si se almacena ese excedente, es para consumirlo en la fábrica en vez de venderlo, aumentando el ahorro.

El ahorro, en este caso, se basa en el almacenamiento de la energía para más tarde ser utilizado cuando la producción de energía por parte de la instalación fotovoltaica no cubra lo consumido. Esta instalación mejora el flujo de caja anual, porque se consume esta energía en vez de venderla, ya que la venta de excedente es a un precio mucho menor que el de la compra, pero también aumenta la inversión inicial.

La misión principal de un subsistema de almacenamiento es acumular el excedente de energía de los paneles fotovoltaicos para su posterior utilización, además de suministrar potencia en los períodos de tiempo en los que la demanda es superior a la de la energía producida, y mantener el nivel de tensión estable, ya que la tensión de salida del panel solar varía por la intensidad radiante.

Las diferentes baterías, están constituidas por uno o varios elementos electroquímicos con la propiedad de convertir la energía química en eléctrica. En el caso de que esta transformación energética fuese irreversible, se denomina batería primaria o pila y no requieren ningún proceso de activación y puede suministrar energía eléctrica directamente. En el caso contrario, la batería secundaria o recargable es reversible, se puede recargar mediante una transformación de energía eléctrica a química, siendo las más comunes la de plomo-acido y la de níquel-cadmio.



Figura 36 Tecnologías de baterías. Figura: [44]

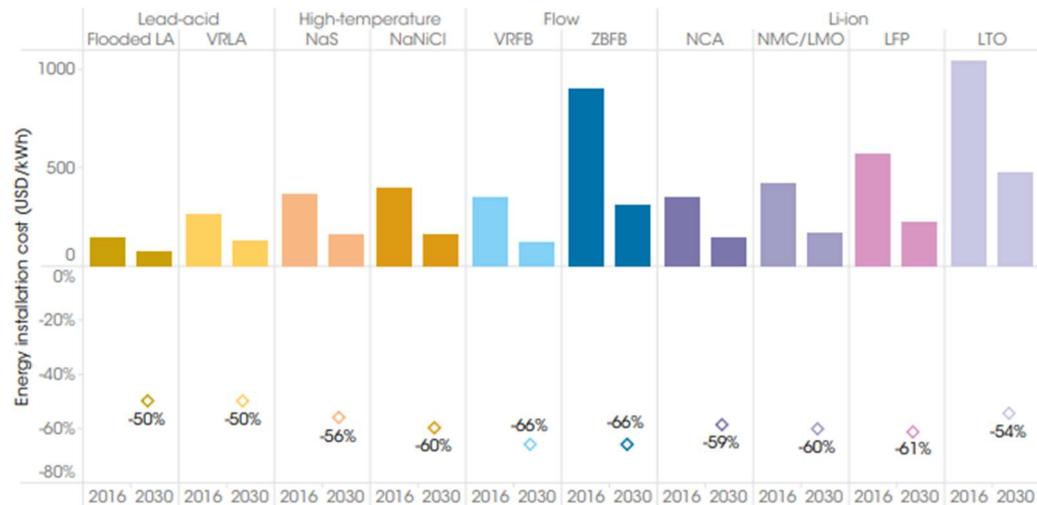
Las baterías también se clasifican por su uso, las baterías estacionarias, baterías de arranque y las baterías de tracción. Es necesario conocer el tiempo de descarga para elegir el tipo de batería para cada uso.

Las baterías de arranque se encuentran en los vehículos de combustión y permiten una descarga elevada de corriente en un breve periodo de tiempo, en este caso los electrodos son más grueso y tienen una menor duración. Las baterías de arranque tienen normalmente la denominación C10, se basa en la cantidad de horas de descarga de la capacidad total de la batería. [42].

Las baterías de tracción proporcionan corrientes altas durante varias horas, son las utilizadas en coches eléctricos y sillas de ruedas eléctricas. La denominación de las baterías de tracción es C5 y C10.

En el caso de una instalación fotovoltaica, el consumo eléctrico de corriente es permanente o esporádicamente baja, por ello las utilizadas son las estacionarias que requieren baterías de tipo C100.

En el mercado existen diferentes tecnologías, donde cada una tiene sus ventajas, así como desventajas, aparte de lo avanzado que este el estudio en cada una de ellas, como por ejemplo las de litio, que es una tecnología madura sobre la que se sigue estudiando. En la Figura 37, se observa que la tecnología de las baterías de litio reducirá su coste un 50% para el año 2030.



Note: LA = lead-acid; VRLA = valve-regulated lead-acid; NaS = sodium sulphur; NaCl = sodium nickel chloride; VRFB = vanadium redox flow battery; ZBFB = zinc bromine flow battery; NCA = nickel cobalt aluminium; NMC/LMO = nickel manganese cobalt oxide/lithium manganese oxide; LFP = lithium iron phosphate; LTO = lithium titanate.

Figura 37 Comparativa de los precios de las diferentes tecnologías de las baterías desde el año 2016 hasta el año 2030. Fuente: [45]

Para la elección de la tensión de las baterías, se tiene en cuenta el uso de las baterías por parte de la fábrica. La tecnología más adecuada para instalaciones de bajo consumo, es la de plomo acido de tipo monoblock de 12 o 24V.

Para instalaciones tanto de medio y alto consumo, se opta por baterías de litio. Las baterías de litio ofrecen mayores ventajas frente a las baterías de ácido plomo como el casi nulo mantenimiento de las mismas. Para una instalación de uso constante y alto, como el de la fábrica que se estudia, se van a instalar baterías litio de 48V, ya que permiten una ampliación futura de la capacidad en el caso de que se aumenten los consumos. Otra de las ventajas de utilizar las baterías de litio es que se puede utilizar hasta el 90% del total de la capacidad, a diferencia del 60% en las baterías de plomo.

Teniendo en cuenta que la instalación está compuesta por paneles fotovoltaicos y unos inversores de la marca Fronius, el resto de los elementos de las baterías tienen que ser

compatibles con lo anterior. Las baterías necesitan para su funcionamiento, un cargador de baterías y también un inversor que transforme el voltaje de la línea a 48V para su carga.

8.1 REALIZACIÓN DEL EXCEL PARA OBTENER EL VAN Y EL TIR

Para calcular el VAN y el TIR de la instalación con el sistema de baterías, se utilizará la tabla de la instalación fotovoltaica del apartado 7.5. Pero se realizarán ademas de estos cálculos estos que se van a explicar.

En primer lugar, se debe conocer la cantidad de energía que hay almacenada en las baterías, ya que conociendo este valor y dependiendo de la diferencia de lo producido y lo consumido, se almacenará o se utilizará esta energía. Se ha comenzado con una columna en la que se necesita conocer la cantidad de energía tienen las baterías almacenadas para que sea restada con la diferencia entre lo consumido y lo producido, Ecuación 7.

Ecuación 32 Almacenado en la h. anterior – Diferencia entre consumo y producido

Con esta diferencia, se obtiene el resultado tras esa hora de lo que queda de almacenado en la batería, ya que si el resultado de la Ecuación 32 es mayor que el máximo de capacidad, se produce un exceso de energía excedente, y si el resultado es negativo, la batería no puede tener capacidad negativa, es decir que se agota la energía. El tercer caso es que se situé entre el máximo y el cero, es decir que ese será el resultado del almacenaje de energía al final de esa hora. Con la función SI.CONJUNTO de EXCEL, se realiza esta serie de condiciones con los resultados.

- Si Ecuación 32>Máx. de capacidad: se almacena toda la energía posible hasta el máximo y el resto es excedente que se vende a la red eléctrica
- Si Ecuación 32<0: significa que se ha consumido toda la capacidad de la batería y la energía restante que consume, se compra a la red eléctrica.
- Si Máx. capacidad> Ecuación 32>0: significa que la empresa consume o produce energía que puede obtenerse o almacenarse totalmente por las baterías, el resultado de la venta y compra de energía durante esa hora es cero kW.

Conociendo el valor de lo almacenado en las baterías, se obtiene la diferencia de energía eléctrica final con la que se obtendrá el balance económico de cada hora. Esto se obtiene de esta manera:

Ecuación 33

Almacenado – Ecuación 32

Positivo: se compra energía a la compañía eléctrica.

Negativo: se vende la energía a la compañía eléctrica.

Se hacen 15 veces esta tabla, ya que serán 15 años de media de vida útil de las baterías y se varía durante estos años el consumo que se produce y se reduce la producción por la degradación de la placa.

Explicación de las tablas de EXCEL hechas para este cálculo:

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4
Diferencia entre consumido y producido	Diferencia entre el valor columna 3 y 1	Almacenado en las baterías	Diferencia entre columna 2 y 3
0kWh	-	3,2kWh (valor de energía máxima almacenada en 1 batería)	-
3kWh (se consume más de lo que se produce)	$3,2-3 = 0,2\text{kWh}$	0,2kWh (Al estar el valor entre 3,2kWh que es el máximo de almacenamiento y 0kWh, este es el valor de lo que resta de almacenamiento en la batería)	$0,2-0,2 = 0\text{kWh}$ (no se venden y no se consume energía a la red eléctrica.) *
-3kWh (se produce más de lo que se consume)	$0,2-(-3) = 3,2$	3,2kWh (se almacenan 3kWh más alcanzando el valor máximo de almacenamiento)	$3,2-3,2 = 0\text{kWh}^*$
-1kWh	$3,2-(-1) = 4,2\text{kWh}$	3,2kWh (4,2kWh supera el valor de capacidad máxima de almacenamiento de 3,2kWh, es decir, la energía almacenada es 3,2kWh)	$3,2-4,2 = -1\text{kWh}$ (se vende energía excedente a la red eléctrica)
4kWh	$3,2-4 = -0,8\text{kWh}$	0kWh (al ser un valor menor que 0kWh el -0,8kWh, el almacenamiento es cero.)	$0-(-0,8) = 0,8\text{kWh}$ (compra de la energía a la red eléctrica)

Tabla 28 Explicación con un ejemplo de cómo funciona el EXCEL para el cálculo del almacenamiento de las baterías y su cálculo económico.

Con este resultado horario de la Ecuación 33, se hace el sumatorio de todas las horas del año obteniendo el balance económico del año. Como la diferencia entre lo consumido y lo producido se obtiene de la instalación fotovoltaica, ya está incluido el crecimiento del consumo y la degradación de las placas cada año. La inflación se aplicará en la tabla de los flujos de caja como se hizo para el Apartado 7.5.

Para la tabla de los flujos de caja, se toma la misma que se utilizó para la instalación fotovoltaica. (Tabla 11).

8.2 ELECCIÓN DE LA MARCA Y LA BATERÍA A UTILIZAR

La marca que mejores prestaciones ofrece en el mercado es la de Pylontech, por ello será la seleccionada a continuación, ya que se pueden conectar 16 baterías sin un hub y hasta 40 baterías en paralelo mediante un hub. Dos productos de esta marca, el US2000C y el US3000C, van a ser comparados para realizar el estudio del sistema de almacenamiento energético.

	US2000C	US3000C
Imagen	 <i>Figura 38 US2000C. Fuente: [44]</i>	 <i>Figura 39 US3000C. Fuente: [44]</i>
Capacidad máxima	2,4kWh	3,5kWh
Capacidad 95%DoD	2,2kWh	3,2kWh
Ciclos de vida	6000	6000
Años de vida útil	+15 años	+15 años
Max. Sin HUB	16 baterías	16 baterías
Garantía	10 años	10 años
Precio	1.152,19€	1.575,92€

Tabla 29 Comparativa US2000C vs US3000C. Fuente: [44][44]

Como se observa en la Tabla 29, las características de las baterías son las mismas, más de 15 años de vida útil, unos 6.000 ciclos de vida, teniendo en cuenta que cada día mas o menos se realiza un ciclo de carga y descarga de la batería, son 16 años de vida útil. Además, ambas baterías tienen una garantía de 10 años.

8.3 CANTIDAD ÓPTIMA DE BATERÍAS PARA LA INSTALACIÓN

Para elegir qué cantidad de baterías será la más optima de todas, se realizarán do graficas con las dos baterías seleccionadas.

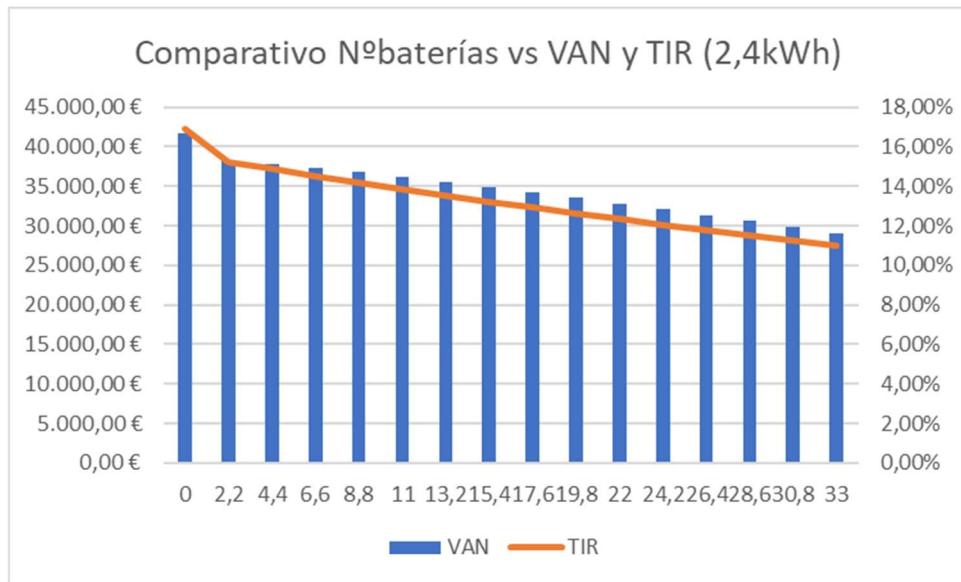


Figura 40 Comparativo Nº baterías vs VAN y TIR (2,4kWh)

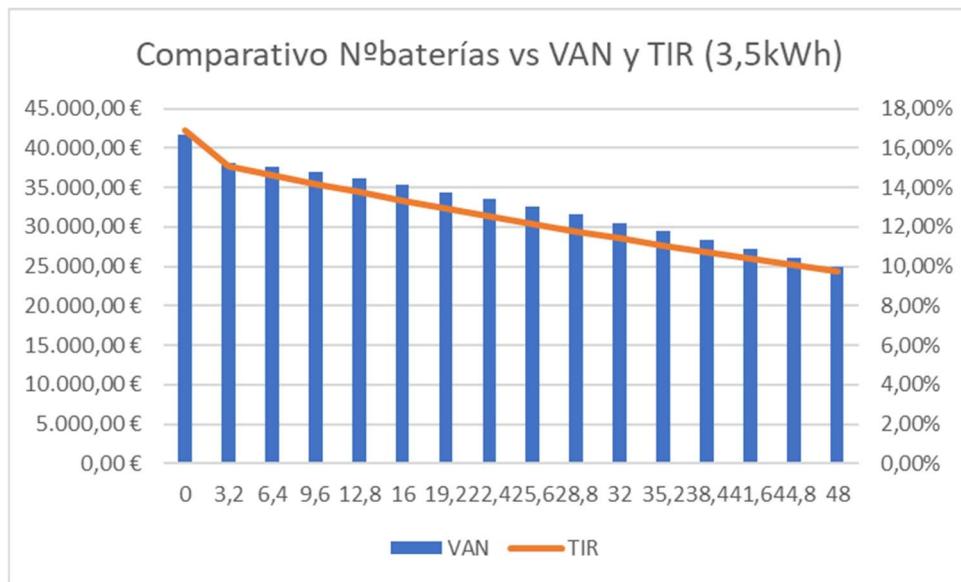


Figura 41 Comparativo Nº baterías vs VAN y TIR (3,5kWh)

Como se observa en los gráficos, la batería más optima es la de 3,5kWh, que da lugar a un TIR y un VAN mayor con la misma cantidad de capacidad, por lo tanto, el mismo ahorro. Esto se observa en el tramo de capacidad de la batería de 10 a 20 kWh, ya que la batería de 3,5kWh su VAN es de 36.500 a 35.500€ y el TIR de 14% a 13%. Para las baterías de 2,4kWh, 36.200 a 33.500€ y el TIR, 14% a 12,5%.

El resultado obtenido observando las gráficas, es de **0 baterías para obtener la mayor rentabilidad**, el valor del VAN es mayor cuando no hay baterías y solo existen placas fotovoltaicas.

A pesar del resultado, se va a estudiar una instalación que tenga baterías, ya que a la empresa le interesaría tener una mayor autonomía para los tiempos de incertidumbre donde la electricidad sube de precio, como el que se está viviendo en el año 2022. Ver Tabla 30.

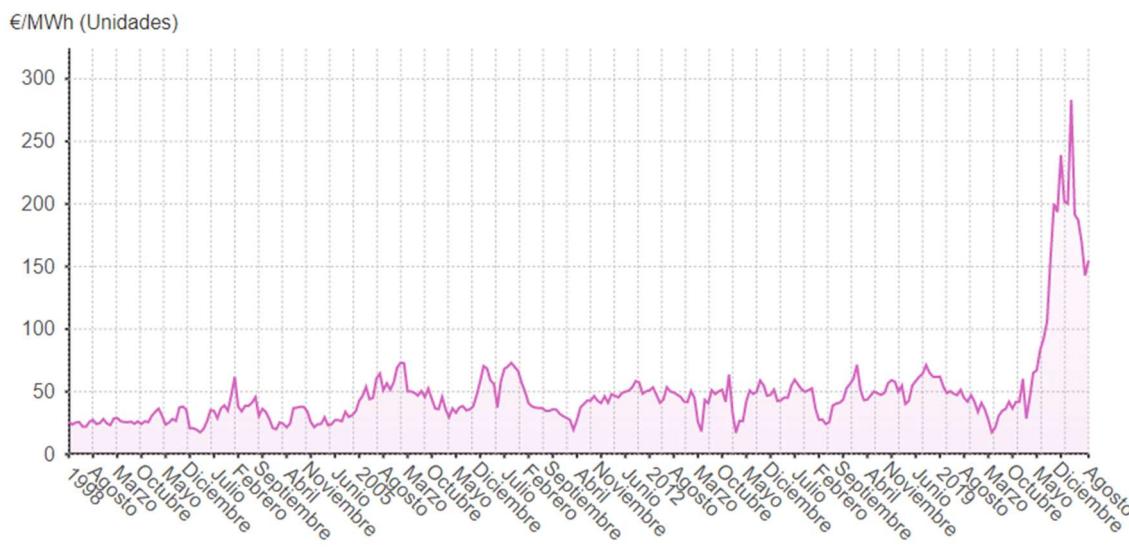


Tabla 30 Variación del €/MWh desde 1998 hasta la actualidad. Fuente: [83]

Para la propuesta de instalación de baterías, se van a estudiar dos cantidades de baterías, de **5 baterías** y de **10 baterías**, ya que más de 10 baterías baja de los 30.000€ y baja del 11%.

8.4 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO COMPLETO

La instalación del sistema de almacenamiento, necesita una serie de elementos tanto electrónicos, eléctricos y mecánicos para su funcionamiento.

Las baterías mediante un inversor/cargador que permite transformar la corriente eléctrica para que puedan cargarse y descargarse, pero para elegirlo se necesita conocer la configuración que utilizará el sistema de almacenamiento.

El primer sistema de configuración es el AC coupling (Figura 42), donde sitúa al inversor cargador entre la salida de los inversores y la red eléctrica. Esta configuración crea la necesidad de que tenga que igualar en potencia a los 4 inversores Fronius de las placas fotovoltaicas, es decir, 80kW. Para la carga de las baterías, esta potencia es mayor de la que requieren, por ello esta configuración se desestima.

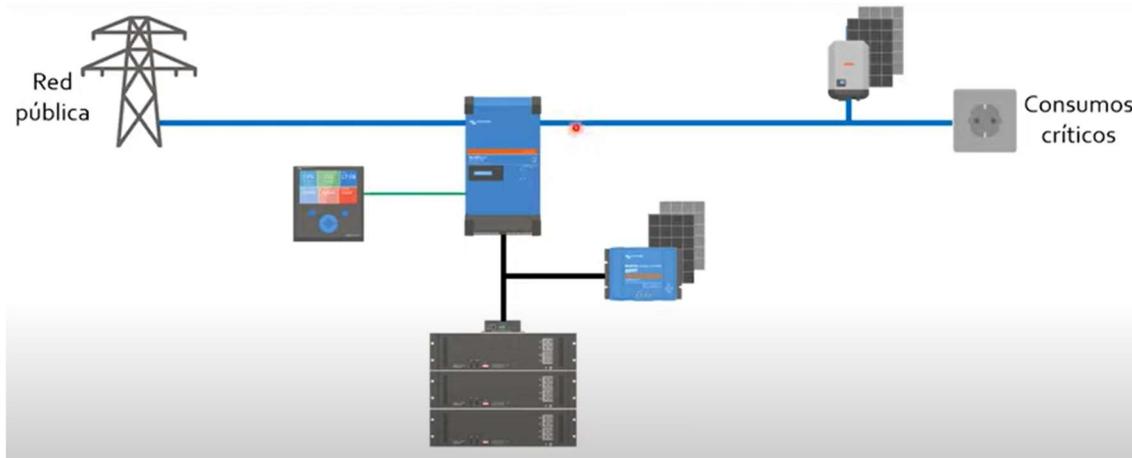


Figura 42 Configuración para una instalación de paneles fotovoltaicos con acumuladores de energía (AC coupling)

En el ESS parallel (Figura 43), se acopla el inversor/cargador a la conexión que hay entre la red eléctrica y los 4 inversores Fronius. Permitiendo así que la potencia del inversor/cargador elegido, dependa únicamente del régimen de carga y descarga de las baterías. Por ello, esta es la configuración es la que se va a elegir.

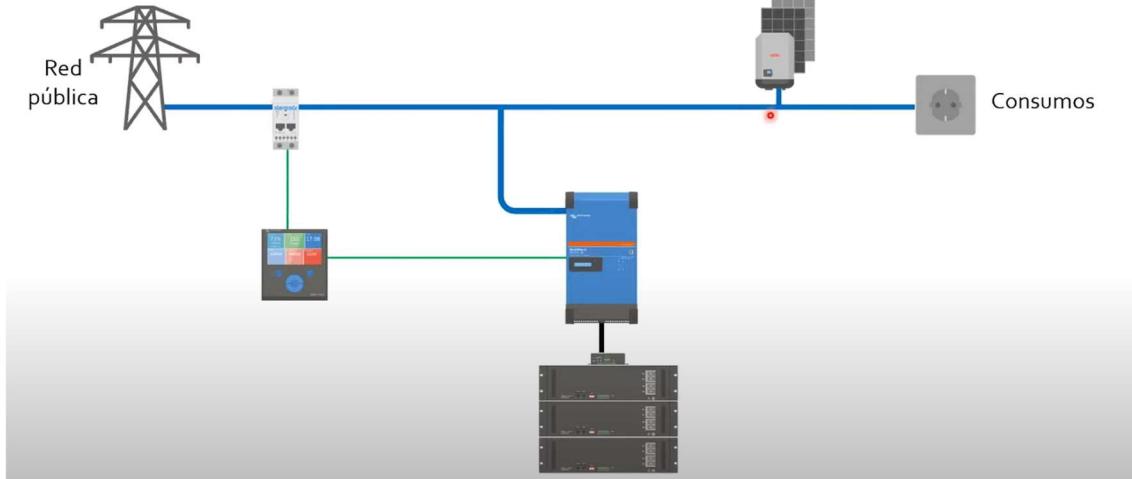


Figura 43 Configuración para una instalación de paneles fotovoltaicos con acumuladores de energía (ESS parallel)

El funcionamiento del ESS parallel, se basa en detectar si la corriente va a hacia la red pública de la instalación o al revés, es decir, que si hay excedente o se compra energía a la compañía eléctrica. Cuando se detecta la dirección de la corriente a través de un sensor de corriente, la información se pasa a un monitor controlador que ordena al inversor/cargador cargar o descargar las baterías. Para completar la configuración ESS parallel, a parte del inversor/cargador y las baterías, se necesita un monitor controlador, un sensor de corriente y monitor de batería como elementos principales.

8.4.1 ELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

Las baterías US3000C, tienen un régimen de carga y descarga recomendada de 37A y de un régimen máximo de 74A. Por ello, los inversores/cargadores deben tener un régimen de carga y descarga similar al de las baterías, evitando así que se dañen y reduzcan su vida útil. Se va a calcular los elementos electrónicos y eléctricos que permiten el funcionamiento de 5 y 10 baterías. [46]

	48/3000/35	48/5000/70
Capacidad de batería recomendada (Ah)	100-400	200/800
Fusible CC recomendado	125 A	200 A
Sección recomendada (mm ²) para terminales de conexión + y -		
0 – 5 m	35 mm ²	70 mm ²
5 – 10 m	70 mm ²	2x70 mm ²

Figura 44 Información técnica de los inversores Multiplus II 48/5000/70-50 y Multiplus II 48/3000/35. Fuente: [57]

Se elegirá el **Multiplus II 48/3000/35-50 (Figura 45)** de **1.615€**, porque el amperaje recomendado por el fabricante de las baterías Pylontech es de 37A y con un máximo de 74A. El amperaje óptimo es de 37A que es el mínimo del inversor y lo más cercano al óptimo de la batería. La sección de cable que conecta las baterías con el inversor/cargador es de 70mm², pero este cable va incluido con la compra de las baterías. Para 10 y 5 baterías la capacidad de batería es correcta, ya que con el amperaje recomendado de las baterías Pylontech no se superan los límites indicados en la Figura 44.



Figura 45 Inversor cargador Multiplus II-Victron. Fuente: [57]

El Monitor Color Control GX de Victron permite monitorizar todos los parámetros de nuestra instalación solar, permitiendo activar o desactivar la carga y la descarga de las baterías, dependiendo de si hay excedente de energía o se compra la energía a la compañía eléctrica.



Figura 46 Precio e ilustración del Monitor Color Control GX Victron. Fuente: [48]

El último de los elementos principales, se encuentra el sensor de corriente, que permite detectar la dirección de la corriente eléctrica para que el Monitor control realice su función, Figura 47.



Figura 47 Kit Medidor Analizador de Consumo. Fuente: [50]

En la tabla S aparecen todos los elementos que permiten hacer funcionar el sistema de almacenamiento con 5 y 10 baterías.

Nombre	Imagen	Cantidad	Precio
Multiplus II 48/3000/35-50 de Victron Fuente: [57]		1 UD	1.615€
Monitor Color Control GX Victron Fuente: [48]		1 UD	545,56€



Kit Medidor Analizador de Consumo Fuente: [50]		1 UD	149,95€
Cable eléctrico corte trifásico H07Z1-K (caja de seguridad al inversor/cargador) Fuente: [59]		2m	14,58€
Cable VE Can a CAN-bus para BMS (GX a inversor/cargador) Fuente: [60]		1 UD	21€
Monitor de Baterías Victron BMV700 Fuente: [49]		1UD	150,92€
Cable VE.Direct (conexión entre monitor control GX y el monitor de baterías Victron) Fuente: [61]		1 UD	24,56€
RJ12 a RJ12 cable 2m 6P6C (conexión entre monitor de baterías y las baterías) Fuente: [50]		1 UD	8,49€
RS-485 a USB (conexión entre medidor analizador y controlador GX) Fuente: [63]		1 UD	2,75€
TOTAL			2.532,81€

Tabla 31 Presupuesto elementos eléctricos y electrónicos de las baterías.

A parte de los elementos eléctricos y electrónicos, se necesita un armario que permita albergar las baterías.



Figura 48 Armario Rack 5 uds US3000 Pylontech. Fuente: [51]

Dependiendo de la cantidad de baterías, se utilizará una cantidad distinta de armarios ya que tiene una capacidad de 5 unidades de US3000C. Cada uno de estos armarios tiene un precio de 294€.

Nº Baterías	Presupuesto de las baterías	Presupuesto total de la instalación
5	10.706,41€	49.167,24€
10	18.880,01€	57.340,84€

Tabla 32 Presupuesto de las baterías.

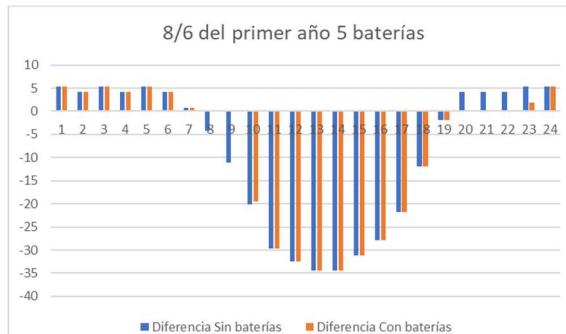
8.5 VAN Y TIR DE 5 Y 10 BATERÍAS

En estas tablas se observan los resultados tanto del VAN como del TIR. También se obtienen los años de amortización necesarios en cada uno de los casos.

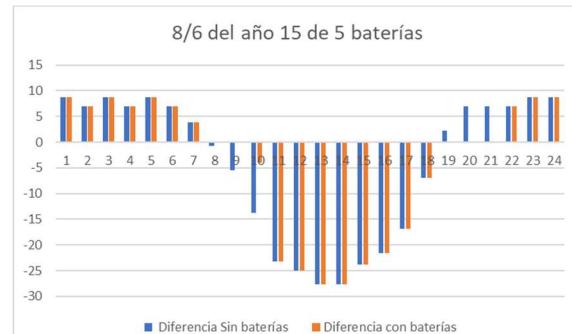
Nº Baterías	VAN	TIR	Años de amortización
5	34.960,99€	13%	7
10	29.873,43€	11%	8

Tabla 33 Resultados del VAN, TIR y años de amortización de 5 y 10 baterías.

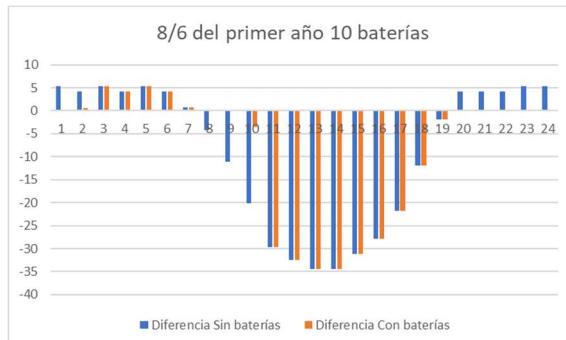
En estas graficas se observa la cantidad de energía que almacena las baterías y cuando se produce el consumo de esta energía. Se compara el balance energético de un día laboral tipo con y sin baterías durante el primer y el último año, donde se ha aumentado el consumo de la empresa.



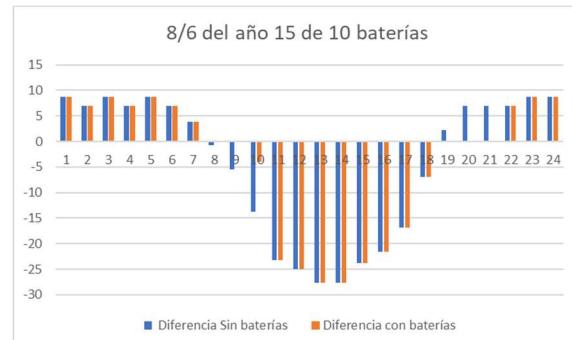
Gráfica 25 8/6 del año 1, 5 baterías.



Gráfica 26 8/6 del año 15, 5 baterías.



Gráfica 27 8/6 del año 1, 10 baterías.



Gráfica 28 8/6 del año 15, 10 baterías.

En el año 1 las 10 baterías cubren casi 7 horas de consumo por la noche frente a 4 horas con 5 baterías. Pero en el año 15, debido al aumento del consumo, solo se cubren 3 horas por la noche. Es decir, si se mantiene la cantidad de placas solares instaladas, a los 15 años la energía que pueden almacenar se vuelve insignificante.

8.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

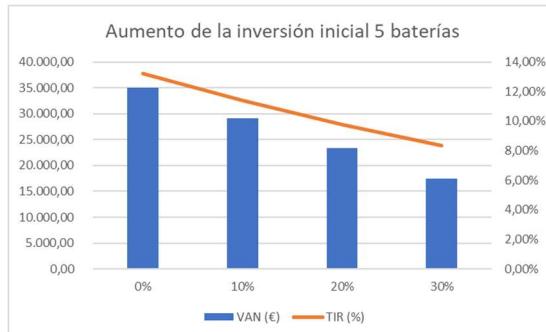
En este análisis de sensibilidad, se analizará dependiendo de la ayuda que se recibe del gobierno de Aragón, como variará el VAN, el TIR y la amortización de la instalación.

Si aumenta el precio de la inversión inicial un cierto porcentaje, por lo tanto, el mantenimiento anual será mayor.

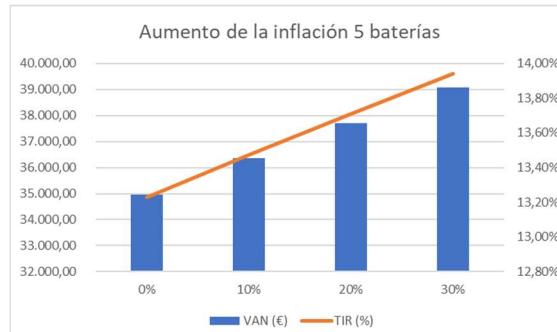
También se comprobará como afecta a la instalación que el precio de la electricidad en vez de ser el actual sea un 10%, 20% o un 30% mayor.

En el caso de que aumente el porcentaje de la inflación, se realizará otro análisis de sensibilidad

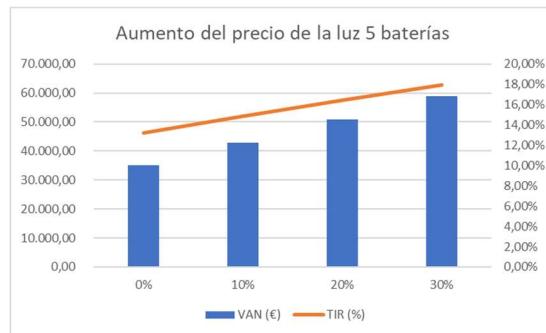
Si la instalación se puede aplicar el descuento con las ayudas económicas, aunque la ayuda del 40% no está asegurada, puede ser de diferentes porcentajes de ayudas económicas. Por eso el análisis de sensibilidad que se hará es desde 0% de ayudas, 10%, 20%, 30% hasta el 40%.



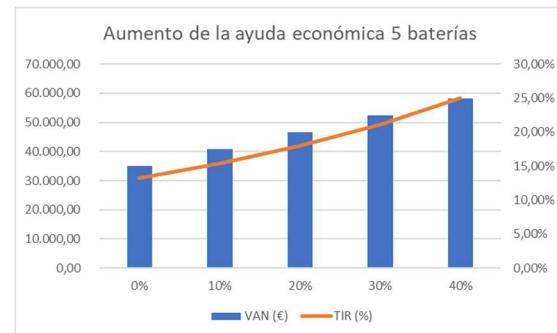
Gráfica 29 Aumento inversión inicial 5 baterías.



Gráfica 30 Aumento de la inflación 5 baterías.



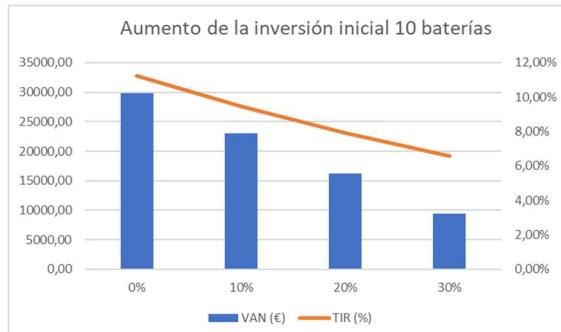
Gráfica 31 Aumento del precio de la luz 5 baterías.



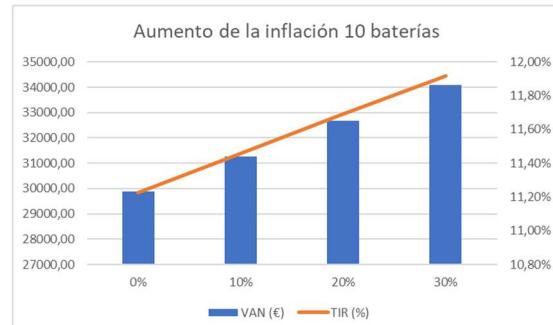
Gráfica 32 Aumento de la ayuda económica 5 baterías.

	VAN (€)		TIR (%)
Inv Inicial	0%	34.960,99	13,23%
	10%	29.125,89	11,39%
	20%	23.290,79	9,78%
	30%	17.455,69	8,36%
	VAN (€)		TIR (%)
Inflación	0%	34.960,99	13,23%
	10%	36.346,01	13,47%
	20%	37.705,66	13,71%
	30%	39.065,32	13,94%
	VAN (€)		TIR (%)
Precio de la luz	0%	34.960,99	13,23%
	10%	42.909,26	14,86%
	20%	50.832,16	16,42%
	30%	58.755,07	17,93%
	VAN (€)		TIR (%)
Ayuda económica	0%	34.960,99	13,23%
	10%	40.821,73	15,38%
	20%	46.657,10	17,94%
	30%	52.492,48	21,07%
	40%	58.327,85	25,05%

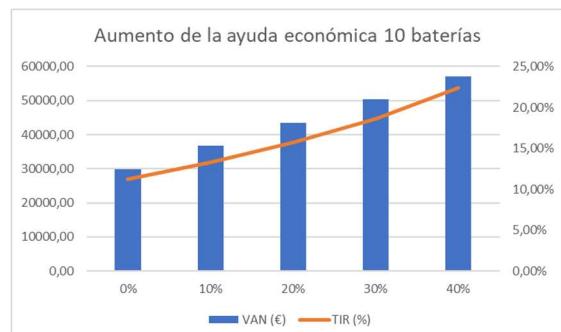
Tabla 34 VAN y TIR del análisis de sensibilidad de 5 baterías.



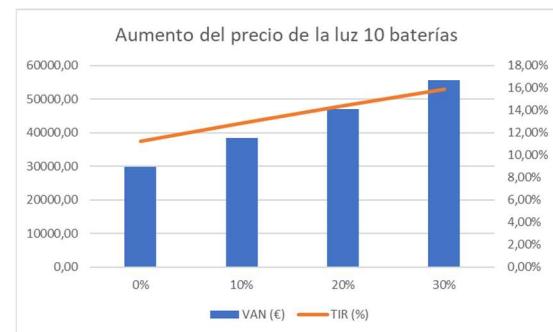
Gráfica 33 Aumento de la inversión inicial 10 baterías.



Gráfica 34 Aumento de la inflación 10 baterías.



Gráfica 35 Aumento del precio de la luz 10 baterías.



Gráfica 36 Aumento de la ayuda económica 10 baterías.

	VAN (€)	TIR (%)
Inv Inicial	0%	29873,48
	10%	23068,02
	20%	16262,57
	30%	9457,12
	VAN (€)	TIR (%)
Inflación	0%	29873,48
	10%	31277,23
	20%	32680,98
	30%	34084,73
	VAN (€)	TIR (%)
Precio de la luz	0%	29873,48
	10%	38467,85
	20%	47062,23
	30%	55656,61
	VAN (€)	TIR (%)
Ayuda económica	0%	29873,48
	10%	36678,93
	20%	43484,38
	30%	50289,83
	40%	57095,28

Tabla 35 VAN y TIR del análisis de sensibilidad de 5 baterías.

9 CONCLUSIÓN DEL TRABAJO

Con el estudio realizado se ha obtenido que la instalación más rentable de todas, es la que consiste en 80 placas fotovoltaicas de 600Wp, Vertex TSM-DE20 585-605, y 2 inversores de 20kW Fronius Symo 20.0-3-M. La inversión necesaria para acometer esta instalación es de **38.460,83€**.

Esta instalación da lugar a un **VAN de 81.315,31€ y un TIR del 19%, con 6 años de amortización**. Unos valores que hacen que la instalación sea recomendable para su realización. Además, en el caso de que la inflación y los precios de la luz aumenten, y si las ayudas económicas son las más altas posibles, los valores tanto del VAN como de la rentabilidad siempre aumentarán.

Dada la preocupación de la empresa por la subida de los precios de la luz, se ha realizado un cálculo de la rentabilidad para implantar un sistema adicional de baterías. Tras analizarlo, se ha constatado que cada vez que se añade una batería, el VAN y el TIR disminuyen debido a la elevada inversión inicial. Es decir, que la instalación más rentable es la que considera únicamente placas fotovoltaicas.

A pesar de que no sale tan rentable un sistema adicional de baterías de litio, se han analizado dos sistemas de baterías, uno con 5 baterías de litio de la marca Pylontech de 3,5kWh de capacidad y otro de 10 baterías del mismo modelo. Se han analizado dos sistemas para poder comparar cómo se comportan a lo largo de los años. En los análisis de sensibilidad de ambos, se observa que una instalación de 5 baterías es más beneficiosa que la de 10 baterías, ya que en el momento en el aumenten los precios de las tarifas, que suba la inflación o que las ayudas de la DGA sean cercanas al 40% máximo, el valor del VAN y del TIR será mayor.

Conociendo todo lo anterior, se recomienda a la empresa realizar la instalación fotovoltaica, ya que independientemente de la situación del mercado, es rentable y proporciona un alto VAN. En cuanto a una posible instalación de las baterías, no se aconseja. En cualquier caso, si se considerara, se recomienda una cantidad menor de baterías, 5 baterías, frente a una más grande, 10 baterías.



BIBLIOGRAFÍA

1. Diagramas Sankey del sector energético español [en línea]. (sin fecha). Universidad Pontificia Comillas. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://www.comillas.edu/Documentos/BP/sankey_energy.html
2. Seguimiento de la demanda de energía eléctrica [en línea]. (sin fecha). Seguimiento de la demanda de energía eléctrica. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/nacional/tot.html>
3. Producción eléctrica en España por tipo en 2021 | Statista. (2021). Statista. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/993747/porcentaje-de-la-produccion-de-energia-electrica-por-fuentes-energeticas-en-espana/>
4. Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2004, 2 de enero). Red de distribución de energía eléctrica - Wikipedia, la enciclopedia libre. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_distribuci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica#/media/Archivo:Redelectrica2.png
5. REData - Pérdidas transporte | Red Eléctrica. (s. f.). Inicio | Red Eléctrica. <https://www.ree.es/es/datos/demanda/perdidas-transporte>
6. J.S, C.C. (2021). Tema 4. Energía solar Fotovoltaica. Curso 2021–2022. Energías renovables. Recuperado 18 de agosto de 2022, de https://moodle.unizar.es/add/pluginfile.php/5044110/mod_resource/content/4/Tema%20_04_solar_FV_2021.pdf
7. Consecuencias del efecto invernadero - Iberdrola. (2021). Iberdrola. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/consecuencias-efecto-invernadero>
8. PF 1.1 Figura 1 - CIE WGI Preguntas Frecuentes. (2021). IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-1-1-figure-1.html
9. Lorenzo, J. A. A. (2018, 5 de junio). Energía Fotovoltaica: Radiación, Geometría, Recorrido, Irradiancia y HSP. SunFields Mayorista fotovoltaica: Placas solares, Inversores... <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
10. CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN SOLAR - IDEAM. (2021). IDEAM - IDEAM. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-Solar#:~:text=Radiaci%C3%B3n%20solar%20directa%20Esta%20radiaci%C3%B3n,de%20la%20radiaci%C3%B3n%20solar%20directa>
11. ¿Cómo funcionan las placas solares?. Blog de Lumisa. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.lumisa.es/post/102/es/como-funcionan-las-placas-solares>
12. IRENA - International Renewable Energy Agency. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Costs_2019_ES.PDF?la=en&hash=A74F5A6BA01D86C175702B4F27C7086AF5D23F99
13. ¿Qué es un generador fotovoltaico? Energya. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.energyavm.es/que-es-un-generador-fotovoltaico/>
14. Bandas de valencia y de conducción en un sólido conductor, semiconductor y aislante . Quimitube Toda la Química de 2º de Bachillerato y Selectividad. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.quimitube.com/videos/enlace-metalico-teoria-de-bandas/bandas-valencia-conduccion-conductor-semiconductor-aislante/>
15. Influencia de la irradiación y temperatura sobre una placa fotovoltaica. Inglibre. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://inglibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>
16. Lesics española, (2019). ¿Cómo funcionan las celdas solares?. YouTube. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=MgIGKmrsBX8>
17. Panel Solar Fotovoltaico [eliseosebastian], (2012). [Componentes de un panel solar fotovoltaico] [Tumblr]. 24 de julio. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://eliseosebastian.tumblr.com/post/27900695685/componentes-de-un-panel-solar-fotovoltaico>
18. Inicio | Universidad de Jaén. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/images/cell.gif
19. Tipos de células fotovoltaicas y sus paneles - HelioEsfera. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.helioesfera.com/tipos-de-celulas-fotovoltaicas-y-sus-paneles/>



20. Departamento Solar del IDAE y Grupo de Trabajo de Autoconsumo de ENERAGEN, (2020). Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo.
21. BOE.es - BOE-A-2019-5089 Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. (2019). BOE.es - Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-5089
22. Aranda Usón, A. y Ortego Bielsa, A., (2011). Integración de energía renovabless en edificios. Zaragoza: Prensa de Unizar.
23. CaixaBank prevé para España la mayor inflación de los países desarrollados en 2022. Cinco Días. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2022/04/08/economia/1649431644_267151.html
24. Prima de riesgo de España. datosmacro.com. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/prima-riesgo/espana>
25. Tipo de interés en españa | statista. Statista. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/639398/tipo-de-interes-oficial-espana/>
26. Valor actual neto (VAN) - Economipedia. Economipedia. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
27. Compresores JOSVAL. (2022). Google. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.google.es/maps/place/Compresores+JOSVAL+S+L/@41.6554538,-0.7774253,18.35z/data=!4m5!3m4!1s0xd59171e549d8c61:0xa774be37e3b0064e!8m2!3d41.6556112!4d-0.7763894?hl=es>
28. Panel solar Meisongmao. ENF. Lista de Empresas en Solares: Paneles Solares, Inversores. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/52298?utm_source=ENF&utm_medium=panel_list&utm_campaign=enquiry_product_directory&utm_content=80672
29. Panel solar Epax Solar. ENF. Lista de Empresas en Solares: Paneles Solares, Inversores. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/50639?utm_source=ENF&utm_medium=panel_list&utm_campaign=enquiry_product_directory&utm_content=118980
30. Panel solar Techno Sun. ENF. Lista de Empresas en Solares: Paneles Solares, Inversores. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/48908?utm_source=ENF&utm_medium=panel_list&utm_campaign=enquiry_product_directory&utm_content=66678
31. Sunergy Solar. ENF. Lista de Empresas en Solares: Paneles Solares, Inversores. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/49476?utm_source=ENF&utm_medium=panel_list&utm_campaign=enquiry_product_directory&utm_content=103403
32. Bayod Rújula, Á. A., (2009). Sistemas fotovoltaicos. Zaragoza: Prensa de Unizar.
33. ¿Cuál es la mejor tarifa de luz para pymes, negocios y empresas?. tarifasgasluz.com. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://tarifasgasluz.com/pymes/tarifas-luz>
34. Tarifa Compresores JOSVAL, 2021-2022, Endesa. [Consultado el 14/07/2022]. www.endesa.com
35. Cómo acogerse a la modalidad de autoconsumo con compensación por excedentes». Tu blog de Autoconsumo fotovoltaico y energía renovable. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.cambioenergetico.com/blog/como-acogerse-a-la-modalidad-de-autoconsumo-con-compensacion-por-excedentes/>
36. (2019). Inicio. Gobierno de Aragón. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.aragon.es/documents/20127/1842589/RD+263-2019.pdf/aaefbe57-4bc0-5d86-3b02-b3bed93af2f0?t=1610969472066>
37. Inversores solares | Máxima calidad en AutoSolar [en línea]. (sin fecha). Autosolar | La Tienda de la Energía Solar. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://autosolar.es/inversores>
38. Energía solar: ¿qué es un inversor on-grid o grid-tie?. SuriaEnergy - Proyectos, instalación y ventas de energía solar. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.suriaenergy.com/energia-solar-que-es-un-inversor-ongrid-o-gridtie>
39. Inversor red FRONIUS symo 17.5-3-M light 17.5kw | al mejor precio. Autosolar | La Tienda de la Energía Solar. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-red-fronius-symo-175-3-m-light-175kw>
40. Inversor huawei SUN2000-40KTL-M3 trifásico 40kw | al mejor precio. Autosolar | La Tienda de la Energía Solar. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-huawei-sun2000-40ktr-m3-trifasicos>
41. Energía Alternativa, (2021). Los mejores Inversores del mercado. YouTube. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=s0J7BxrN2t0>
42. ¿Cómo calcular la capacidad de las baterías? | AutoSolar. | La Tienda de la Energía Solar. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://autosolar.es/calcular-capacidad-baterias>



- en: <https://autosolar.es/baterias-placas-solares/como-calcular-la-capacidad-de-las-baterias>
43. Batería Litio 2.4kWh Pylontech US2000C 48V | AutoSolar | La Tienda de la Energía Solar. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://autosolar.es/baterias-litio-48v/bateria-litio-24kwh-pylontech-us2000c-48v>
44. Batería Litio 3.5kWh Pylontech US3000 48V | AutoSolar | La Tienda de la Energía Solar. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://autosolar.es/baterias-litio-48v/bateria-litio-35kwh-pylontech-us3000-48v>
45. Irena, (2017). Electricity storage and renewables Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf
46. Datasheet-US2000-US3000 Autosolar. Disponible en: <https://autosolar.es/pdf/Datasheet-US2000-US3000.pdf>
47. Web pricelist Victron (2022). Victronenergy. Disponible en: https://www.victronenergy.com.es/media/pricelist/Web_Pricelist_Victron-EURO_2022-Q3_otLVI26.pdf
48. Monitor color control GX victron | al mejor precio Autosolar | La Tienda de la Energía Solar. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://autosolar.es/accesorios-inversores/monitor-color-control-gx-victron>
49. Monitor de baterías victron BMV700 | al mejor precio Autosolar | La Tienda de la Energía Solar. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://autosolar.es/accesorios-baterias/monitor-de-baterias-victron-bmv700>
50. Kit Medidor Analizador Consumo 24h SAJ SMART METER para vertido. Tienda online de iluminación LED para Profesionales - efectoLED. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.efectoled.com/>
51. Armario rack para 8 baterías litio pylontech us 2000B plus. Rebacas S.L. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.rebacas.com/baterias-de-litio/1537-armario-rack-bateria-pylontech.html>
52. 02VPS1. Carlos Alcaraz. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://carlosalcaraz.com/producto/movilidad-electrica-y-energia-solar/estructuras/soportes-coplanares-en-tejas/02vps1-v1/>
53. 02VPS2. Carlos Alcaraz. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://carlosalcaraz.com/producto/movilidad-electrica-y-energia-solar/estructuras/soportes-coplanares-en-tejas/02vps2-v1/>
54. Estructuras de hormigón Solarbloc 30º para 4 módulos - Atersa Shop. Atersa: Tienda Online de productos fotovoltaicos con Financiación. [Consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://atersa.shop/producto/estructuras-de-hormigon-solarbloc-300-para-4-modulos/?product_page_alternate
- benefits=1&gclid=CjwKCAjww8mWBhABEiwAI6-2Re_1GUoBx5tZvApfL6LKa7o2ubg0_SsE12blJark0xokAtkbXRoCQ5QQAvD_Bw#tab-link-downloads_tab
55. Alberto León Muñoz, (2021), Trabajo de fin de grado Instalacion fotovoltaica enarco S.A.
56. Pricelist Vicron Euro 2022. (2022). www.victronenergy.com. Recuperado 16 de agosto de 2022, de https://www.victronenergy.com.es/media/pricelist/Web_Pricelist_Victron-EURO_2022-Q3_otLVI26.pdf
57. Manual Victron MultiPlus II. (2022). Autosolar. Recuperado 18 de agosto de 2022, de <https://autosolar.es/pdf/Manual-Victron-MultiPlus-II-3000VA-5000VA.pdf>
58. MultiPlus-II (ESS Grid-parallel) autoconsumo fotovoltaico con acumulación Victron Energy. (2020, 18 noviembre). YouTube. Recuperado 18 de agosto de 2022, de <https://www.youtube.com/watch?v=BADJ9IjmVPY>
59. Cable eléctrico corte trifásico H07Z1-K 3G16mm2 Mín30m-Máx70m. (2021, 9 junio). LEROY MERLIN. Recuperado 18 de agosto de 2022, de https://www.leroymerlin.es/fp/82015021/cable-electrico-corte-trifasico-h07z1-k-3g16mm-min30m-max70m?keyword=&ds_kid=92700068915555759&ds_ag=Todas+Categorias&ds_c=Lm_Empoderar AO_SmartShopping_Todas_Categoría/final_Google_Conversion_OMB&source=google&adtype=&gclid=Cj0KCQjwuaixBhGCAriSAKZLr3k0_kpBuLoDQlLGKqpfDc960Orbqp_ruAUnfklvrlAHwhiaDxgqAmHnEA1w_wcf&gclid_caw.ds
60. Cable VE.Can a Bus-CAN de BMS / 5 m. (2022). Wattundeed. Recuperado 18 de agosto de 2022, de https://www.wattundeed.com/es/cables-y-conectores/25652-cable-vecan-a-bus-can-de-bms-5-m-0768563818691.htm?gclid=Cj0KCQjwuaixBhGCAriSAKZLr3nGbGlpq-5ZYF7qxs7KcXkhbPKVgNt20PdQ0Hdt-PmRTxh6VcwHwaAky4EALw_wcf
61. Victron regulador solar MPPT 100/15 12 – 24 V 15 A : Amazon.es: Industria, empresas y ciencia. (2022). Amazon. Recuperado 18 de agosto de 2022, de https://www.amazon.es/Victron-Energy-VF-Direct-Cable-3m/dp/B01F9ESER2/ref=asc_df_B01F9ESER2/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=195206972612&hvpos=&hvnetw=&hvrand=391596736111896389&hvphone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlophcy=1005548&hvtagid=pla-422899383356&psc=1
62. RJ12 a RJ12 Cable 2m 6P6C Piso de Extensión Teléfono Enchufe Conector Hombre a Hombre Enrutador/Módem Fijo Centralita Datos Alambre RJ-12 RJ 12 (Blanco) : Amazon.es: Informática. (2022). Amazon. Recuperado 18 de agosto de 2022, de https://www.amazon.es/Extensi%C3%B3n-C3%3B3n-Tel%C3%A9fono-Conector-Enrutador-Centralita/dp/B07YC7DWNS/ref=sr_1_97_sspa?keywords=RJ12+Cable&qid=1659517181&sr=8-97
63. 2.76€ 40% de DESCUENTO|Adaptador convertidor RS485 a USB 485, compatible con Win7 XP, WIN98, WIN2000, WINXP, WIN7, WIN10 VISTA|Conectores y cables de ordenador| - AliExpress. (2022). aliexpress.com. Recuperado 20 de julio de 2022, de https://es.aliexpress.com/item/1005003076597700.html?_rand_curenccy=EUR&_rand_shipto=ES&src=google&albch=shopping&acnt=439-079-4345&slnk=&plac=&mtcp=&lbbt=Google_7_shopping&lbagn=8888888&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&albcp=10191226475&albagge



- [102259630496&trgt=993244034305&crea=es1005003076597700&net_wu&device=&galiipg=993244034305&albpd=es1005003076597700&gclid=Cj0KCQjwB52XhC6AR1sA1fPN3djh3twZCwA3loN7c-kRnMomyVG9ftsIWz0AC3WV8kG_xmF_TfAaAum-EA1w_wcB8gelsrcaw&fcid=2f4a9a67786a42bbd41d15f309e828bea-1659352621085-03114-UneMJZV&aff_lsk=UneMJZV&aff_platform=aaf&sk=UneMJZV&aff_trace_key=2f4a9a67786a42bbd41d15f309e828bea-1659352621085-03114-UneMJZV&terminal_id=612b81f6cd1045318c024ea684f2fc03&gSmart_edirect=](https://www.energiasociedad.es/manual-de-la-energia/4-2-la-eficiencia-energetica-del-vehiculo-electrico/#%7E;text=En%20el%20caso%20de%20BEV,est%C3%A1%12%20basado%20en%20gas%20natural)
64. Product prysmiangroup. (2022). Prysmiagroup. Recuperado 18 de agosto de 2022, de https://es.prysmiagroup.com/sites/default/files/product_center/spain/files/Afumex-Class-1000V-RZ1-K-Cca-s1b-d1-a1.pdf
65. UPV tablas de valores. (2022). UPV. Recuperado 18 de agosto de 2022, de http://www.upv.es/electrica/material_tecno/Transparencias03/Tema5/tablas.pdf
66. Programa de ayudas para actuaciones de eficiencia energética en PYME y gran empresa del sector industrial. (2022, 4 agosto). Portal de Aragón. Recuperado 18 de agosto de 2022, de <https://www.aragon.es/-/programa-de-ayudas-para-actuaciones-de-eficiencia-energetica-en-pyme-y-gran-empresa-del-sector-industrial#anchor1>
67. BOE sábado 13 de abril de 2019. (2019, 13 abril). aragon.es. Recuperado 18 de agosto de 2022, de <https://www.aragon.es/documents/20127/1842589/RD+263-2019.pdf/aefbe57-4bc0-5d86-3b02-b3bed93a2f0?e=1610969472066>
68. Deutsche Welle (www.dw.com). (2022, 6 julio). PE aprueba que energía nuclear y gas se consideren verdes. DW.COM. Recuperado 21 de agosto de 2022, de <https://www.dw.com/es/parlamento-europeo-aprueba-que-energia-nuclear-y-gas-se-consideren-verdes/a-62381134#%7E;text=Europa-Parlamento%20Europeo%20aprueba%20que%20energia%3ADA%20nuclear%20y%20gas%20se%20consideren,como%20propone%20la%20comision%3Bn%20Europea.>
69. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030. (2022). Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Recuperado 21 de agosto de 2022, de <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>
70. R. (2021b, julio 21). España solo acapara el 3,3% de los puntos de recarga europeos. Híbridos y Eléctricos. Recuperado 26 de agosto de 2022, de <https://www.hibridoselectricos.com/articulo/sector/espana-solo-acapara-33-puntos-carga-europeos/20210712161830046898.html>
71. Toyota España. (2022). Toyota Corolla | Toyota España. Toyota ES. Recuperado 26 de agosto de 2022, de https://www.toyota.es/coches/corolla?gclid=Cj0KCQjw9ZGYBhCEARIsAEUXTUZcqSY-nz_gSWw62sU2ANuMaKf3Ue4q-jzqnT3O68sy_MM5dfAt67EAw_wcB&gclsrc=aw.ds
72. Fernández, A. (2022, 2 abril). Las ventas de coches híbridos en España sufren un batacazo en marzo de 2022. Motor.es. Recuperado 26 de agosto de 2022, de <https://www.motor.es/noticias/ventas-coches-hibridos-2022-marzo-202286059.html>
73. Amador, S. (2022, 2 mayo). Coches de hidrógeno: ¿una opción real o un sueño lejano? El Motor. Recuperado 26 de agosto de 2022, de <https://motor.elpais.com/coches-electricos/coches-de-hidrogeno-una-opcion-real-un-sueno-lejano/>
74. 4.2. La eficiencia energética del vehículo eléctrico. (2021, 10 septiembre). Energía y Sociedad. Recuperado 26 de agosto de 2022, de <https://www.energiasociedad.es/manual-de-la-energia/4-2-la-eficiencia-energetica-del-vehiculo-electrico/#%7E;text=En%20el%20caso%20de%20BEV,est%C3%A1%12%20basado%20en%20gas%20natural>
75. Álvaro Cueto ahorra en combustible un Tesla? (2021, 25 noviembre). ELMUNDO. Recuperado 26 de agosto de 2022, de <https://www.elmundo.es/como/2021/11/15/619278e7fc683ec628b459a.html>
76. Diseño su Model 3 | Tesla. (2022). TESLA. Recuperado 26 de agosto de 2022, de https://www.tesla.com/es/design/model3/design_overview
77. Nuevo ID.4 | Volkswagen España. (2022, 11 agosto). volkswagen. Recuperado 26 de agosto de 2022, de https://www.volkswagen.es/es/modelos/id4.html?adchan=sem&campaign=00789022_NC_TAT_OFO_BRE_RNG_RNG_ESP_NU_SEAH_PSEAC_TEAD_NU_GAD_GADW_CPA_NU_NU_NONE_A25-55_CXD_ES_EX_BRAD_ELECTRICOS-PHD202112766543&adgroup=El%3CA9ctricos_Exact&publisher=G00GLF&adres=volkswagen+electricos&adpl=G00GLE&adid=71700000060967094&country=ES&language=ES&gclsrc=aw.ds&gclid=CjwKCAjwmljeYBhAwEiAwXlq0AQSMhFPrPDzrTlpha7LjMu_2sqK1Ee7aMoEjBMNwaTq6QmbMbFxoC4uY0AvD_BwE
78. Toyota España. (2022b). Toyota Corolla | Toyota España. Toyota ES. Recuperado 26 de agosto de 2022, de https://www.toyota.es/coches/corolla?gclid=CjwKCAjwmljeYBhAwEiAwXlq0AbNCVYQX_prDMCTxXgK7MPz2U_Pu1yKn7zdIn-gPmeCl4PwkKboCnicQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds
79. Precio de la gasolina y diesel HOY en las gasolineras de España. (2022a). dieselgasolina. Recuperado 26 de agosto de 2022, de <https://www.dieselgasolina.com/>
80. POPP® Electric Interruptor diferencial Industrial TIPO AC 2 Polo 4 Polo 30mA 300mA SERIE MSL8 (1P+N, 40A 30mA) : Amazon.es: Bricolaje y herramientas. (s. f.). Recuperado 14 de septiembre de 2022, de https://www.amazon.es/gp/product/B07Z6jX8N8/ref=ewc_pr_img_27?mid=A3BS7FA3B1E70&th=1
81. Caja Estanca Exterior Electrónica IP65, 12 Modulos, Caja Cuadro Electrico Superficie de Superficie de Plástico ABS, Caja de Distribución Eléctrica Para Empotrar: Amazon.es: Bricolaje y herramientas. (s. f.). Recuperado 14 de septiembre de 2022, de https://www.amazon.es/Electro%3Bnica-Electrico-Superficie-Distribuci%3Bn-El%3CA9ctrica/dp/B09VKTxDGP/ref=sr_1_3_sspa?adgrpid=65650540281&gclid=Cj0KCQjw94WZBhD1ARIaKxWG-BtR10QmvFwNMaEspdfE9wDyaXphgJNSlVdCgtxSqF2GlwDWQGpVyaAqrnEAw_wcB&hvadid=611180065481&hvdev=c&hvhlophry=1005548&hvnetw=g&hvmt=1&hvrand=1360858149028291150&hvtagrid=kwd-67493424181&hydadrc=6262_2326988&keywords=caja%2Belectrica&qid=1663109596&sr=8-3
82. Contador de corriente alterna Reltech RWDZ2. Automation24. Recuperado 18 de septiembre de 2022, de https://www.automation24.es/contador-de-corriente-alterna-reltech-rwdz2?reviewPriceListId=1&refID=adwords_shopping_ES&gclid=CjwKCAljw5zBhAEIwahhRLHtEc2b7KEMKytloDxK3_NgHg8_tmI7HvucB8nryKuGzLz01RoC7uQAvD_BwE
83. Precio de la factura de la luz, datos y estadísticas. (s. f.). Recuperado 18 de septiembre de 2022, de <https://www.epdata.es/datos/precio-factura-luz-datos-estadisticas/594>



ANEXOS

ANEXO 1: DIFERENTES TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y SU PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

PORQUE SE ELIGE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA ESTA INSTALACIÓN

Más del 99,9% de la energía en la Tierra proviene del Sol, y cuando llega a la atmósfera esta se debilita y se transforma en otras formas de energía como la eólica o la hidráulica.

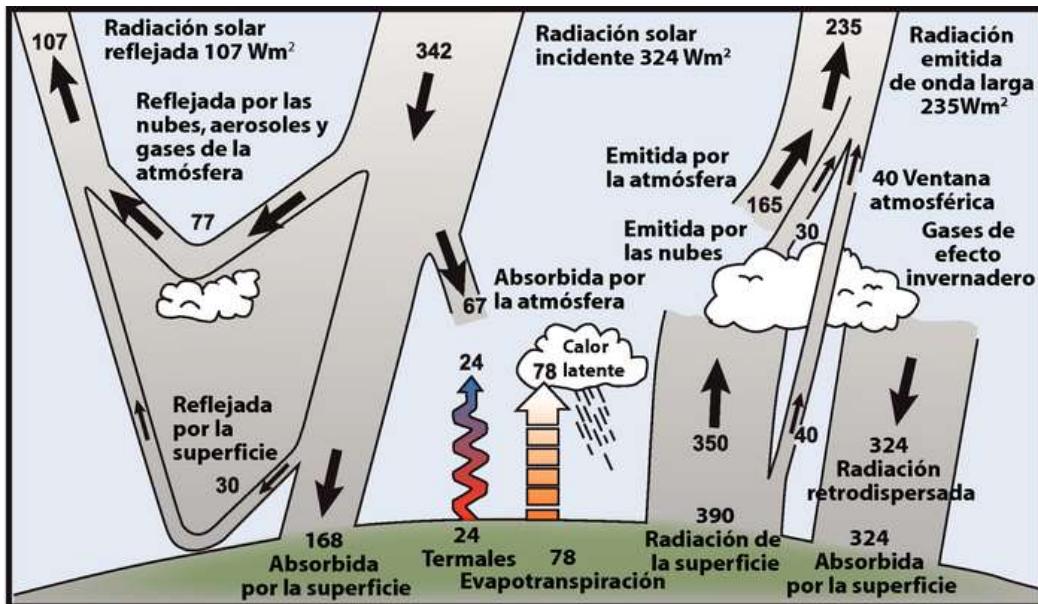


Figura 49 Esquema de la transformación de la energía solar que proviene del sol. Fuente:[8]

Los principales efectos que debilitan a la radiación en su entrada a la atmósfera es la refracción, la absorción y la dispersión. Por eso, la curva energética según la longitud de la onda de la radiación solar antes y después de la atmósfera varía. Como se puede observar en la Figura 49, la zona de máxima energía antes y después de la atmósfera esta entre 0,5 y 0,6 μ m, es decir, el rango del color entre el verde y el amarillo. Por debajo de este rango disminuye la energía rápidamente. Tras la atmósfera, hay zonas como en 1,4 μ m o en la zona 1,8 a 2 μ m que disminuye bruscamente por los procesos de absorción selectivos.

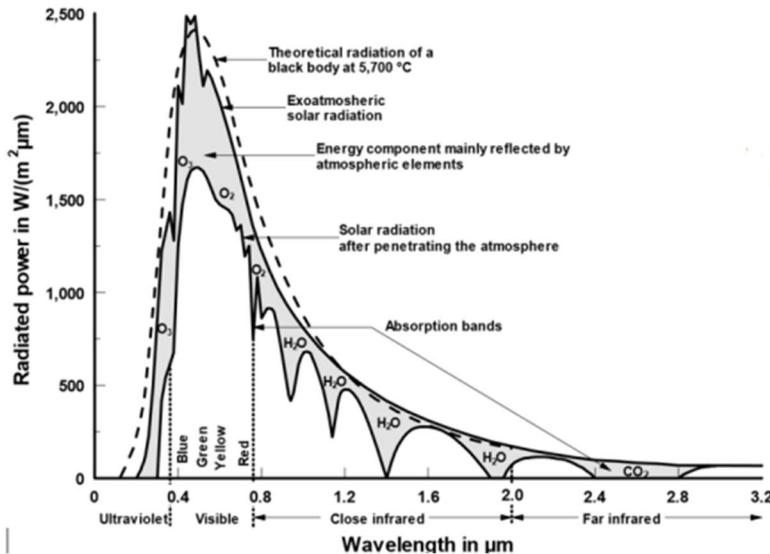


Figura 50 Gráfico que compara la energía de la radiación según la longitud de onda. Fuente: [6]

[10]En cuanto a la radiación que existe en la Tierra tras la atmósfera, se puede dividir en tres tipos debido a su origen; **radiación directa, radiación difusa y radiación reflejada o albedo**. Estos tres tipos de radiación son las que incidirán en las placas solares y que se transformarán en energía eléctrica para el consumo.

La radiación directa es aquella radiación solar que llega a la superficie de la Tierra, sin cambios de dirección y tiene diferentes ángulos a tener en cuenta para la colocación de las placas y su máximo rendimiento:

- Ángulo de declinación (δ): es el ángulo que varía estacionalmente debido a la inclinación de la Tierra sobre su eje de rotación y su posición respecto al sol.
- Altura solar (α): es el ángulo que representa la altura del sol sobre el horizonte celestial del observador.
- Azimut solar (Ψ): es el ángulo que forma la dirección sur con la proyección horizontal del sol.
- Inclinación de la placa (β): es el ángulo que forma la superficie horizontal sobre la que se apoya la placa fotovoltaica con su propia superficie.

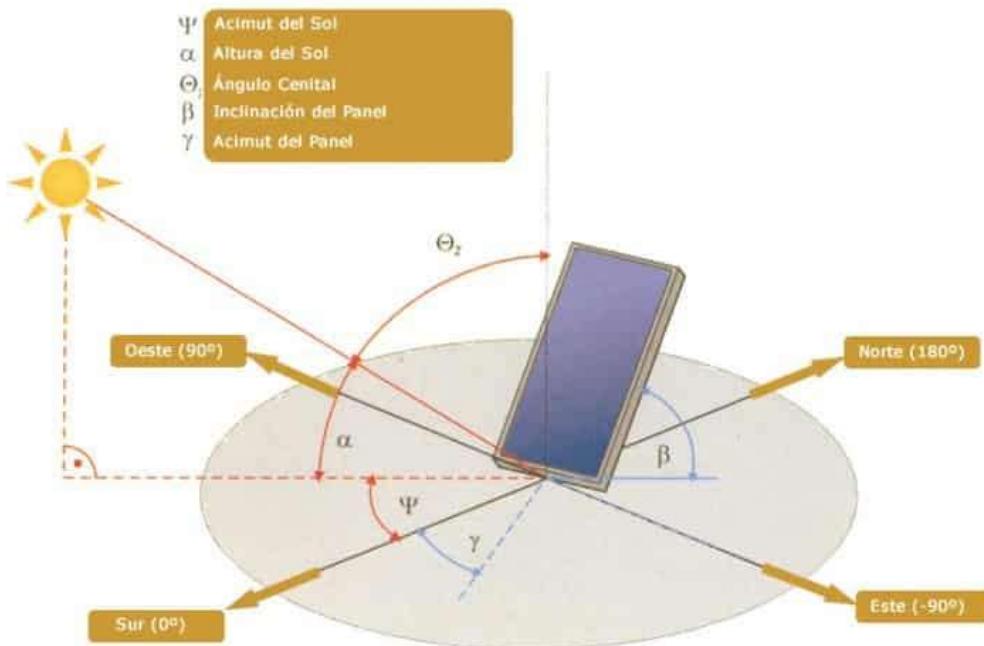


Figura 51 Diferentes ángulos que permiten conocer la posición de la placa solar respecto a la Tierra y al Sol.
Fuente: [9]

La radiación solar difusa es aquella que es definida como la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie horizontal desde todos los lugares de la atmósfera diferente de la radiación solar directa.

La radiación albedo es la radiación que las superficies tanto de la tierra como la misma atmósfera refleja respecto al total de la radiación que incide sobre ella.

Las placas fotovoltaicas tienen una vida útil larga, entre los 20 hasta los 40 años, y la fiabilidad de las placas no es comparable con otro tipo de energía limpia, dado que no hay riesgo que pueda afectar a las personas o los materiales, no hay elementos inflamables, no atrae los rayos y los inversores de conexión a la red, tiene una gran fiabilidad.

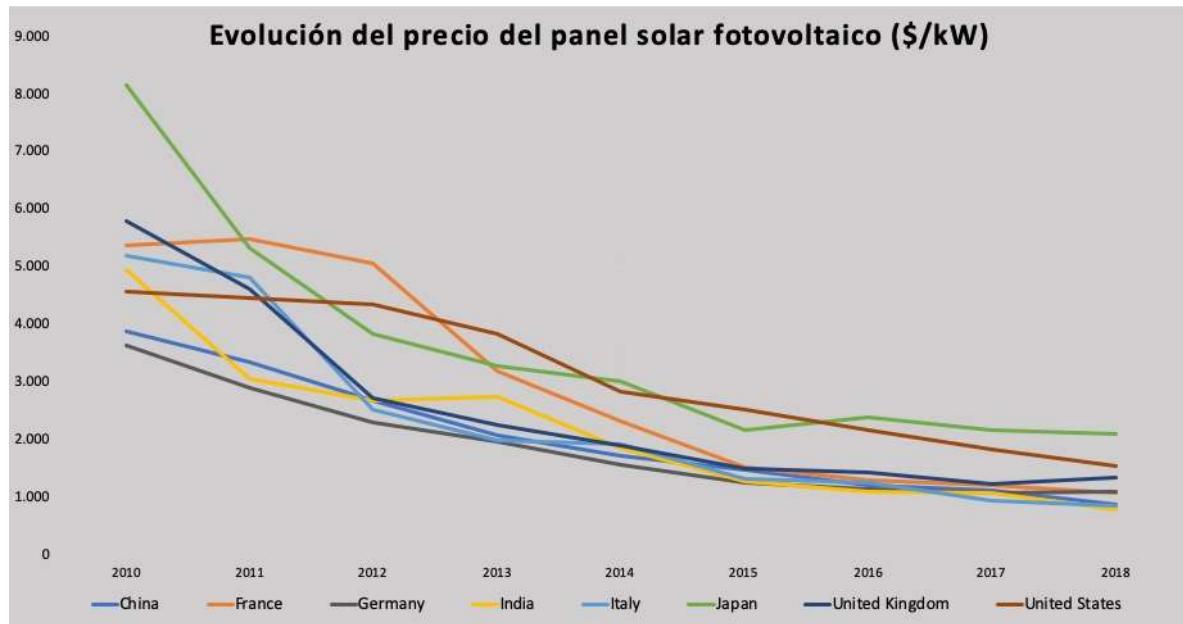


Figura 52 Evolución de los precios por kW de los paneles solares (2010-2018). Fuente: [11]

Tecnologías de energía renovable: reducción de los costos desde 2010

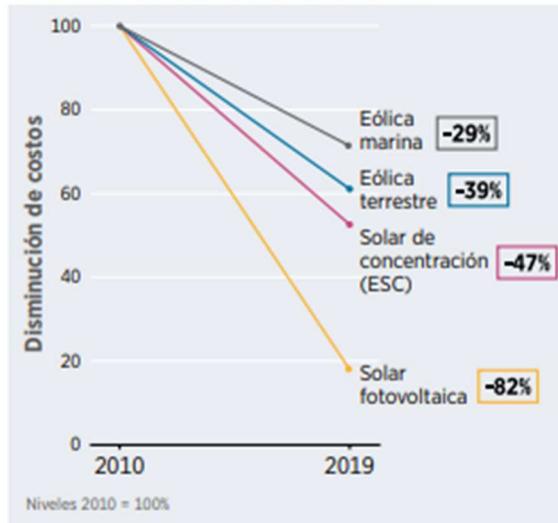


Figura 53 Reducción de los costos de las distintas tecnologías renovables (2010-2019). Fuente: [12]

Como se puede apreciar en la Figura 52, se ha reducido el coste para obtener un kW de energía desde un precio de media de 6.000€/kW, en el año 2010, hasta los 2.500€/kW, en el año 2018. Aparte, el precio de un panel solar, se ha homogeneizado en todo el mundo. En el año 2010, el precio de un panel solar en Japón era de 8.500€/kW, cuando en Alemania se situaba en torno a 3.500€/kW. Actualmente se sitúan ambos entre 2.500-3.000€/kW.

En la Figura 53 se observa el descenso del porcentaje de la reducción del costo de este tipo de energía y se ve que la energía solar es la que más se ha reducido respecto al resto de las tecnologías de energía renovable (eólica, ESC, FV).

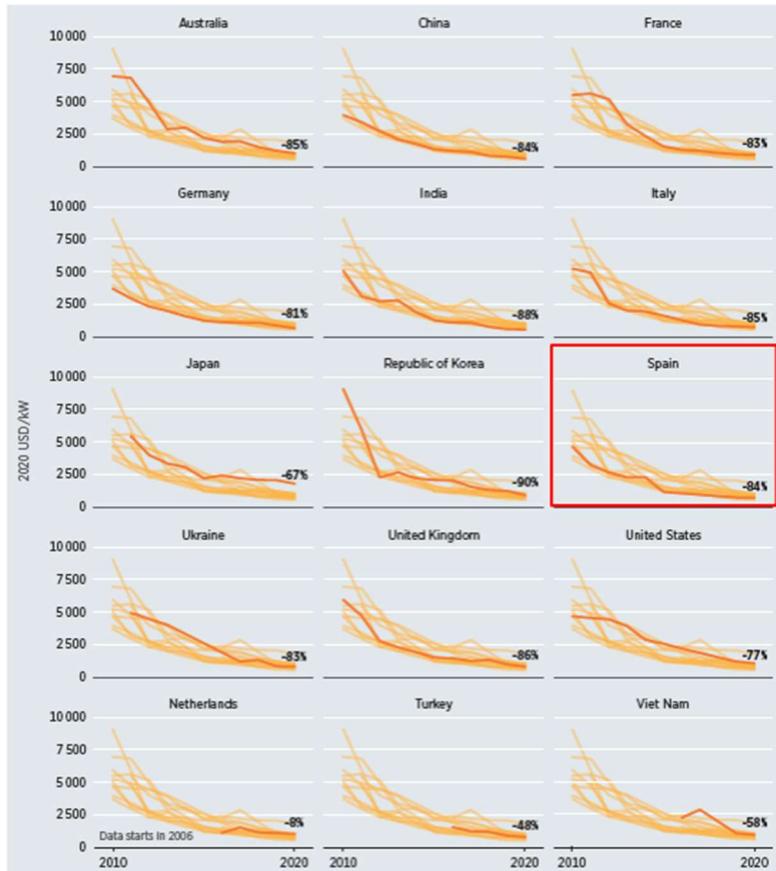


Figura 54 Evolución del valor del kW de energía fotovoltaica en diferentes países, donde se resalta España. Fuente: [12]

Entre el año 2010 y el 2020 en España, se redujo de media un 84% el coste total de instalación de energía solar fotovoltaica a nivel de grandes plantas. La reducción de este coste está siguiendo la tendencia del resto de los países como se observa en la Figura 54.

TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO

Hay diferentes tipos de instalaciones de energía solar que permiten tener un tipo u otro de sistema fotovoltaico. Existen dos tipos de sistemas principalmente, el conectado a la red o el sistema aislado.

El **sistema conectado a la red** consiste en un sistema generador fotovoltaico, es decir una instalación de placas fotovoltaicas, un sistema de regulación y de adaptación de corriente que permitirá verter la energía extra que no se termina de consumir para el autoconsumo en la red eléctrica, y luego todo tipo de cableado, protecciones, sistemas de seguimiento, etc.

El **sistema aislado**, es el que no vierte la energía producida a la red eléctrica, sino que se almacena o se consume. Para ello, se necesita un generador fotovoltaico, un sistema de regulación y un adaptador de corriente. A diferencia del anterior, se necesita un sistema de almacenamiento de la energía no consumida, dado que no está conectado a la red eléctrica. También se requerirá cableado, protección, sistemas de seguimiento, etc.

PARTES QUE COMPONEN UN GENERADOR FOTOVOLTAICO

Un generador fotovoltaico [13] es una instalación compuesta desde una o más placas fotovoltaicas, dependiendo del uso que se le quiera dar y de la potencia que se quiera

obtener. El generador fotovoltaico, normalmente está compuesto por cadenas fotovoltaicas conectadas en paralelo, estas a su vez están formadas por paneles fotovoltaicos conectados en serie. Un panel fotovoltaico es una composición de módulos conectados entre sí, y los módulos, a su vez están formados por células solares.

La célula fotovoltaica es la parte más elemental de un generador fotovoltaico, y la que se encarga de transformar la luz solar en energía eléctrica. Este proceso se basa en el principio de uniones P-N de los semiconductores que forman la célula. Para la transformación de la energía solar a eléctrica, se basa en la teoría de bandas de los átomos de un material semiconductor. Para conseguir que un electrón salte y de lugar a la corriente eléctrica, se necesita una cantidad de energía la cual procede de la energía que se obtiene de la luz solar.

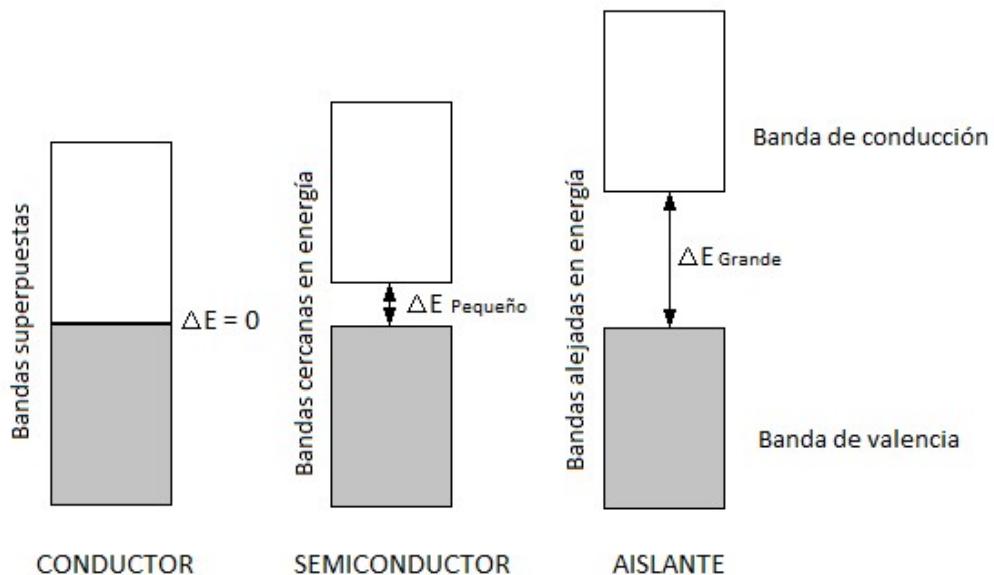


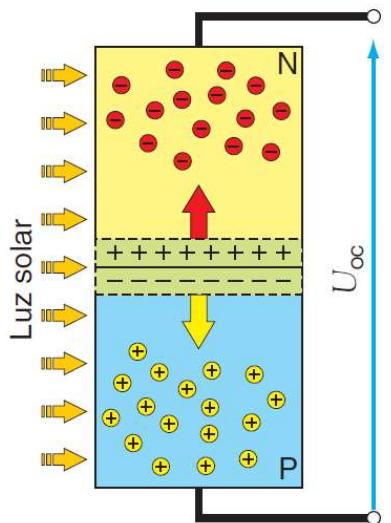
Figura 55 Bandas energéticas y los gaps energéticos de un átomo conductor, un semiconductor y un aislante.
Fuente: [14]

[6] Debido a que las bandas de valencia no están unidas, sino separadas entre sí por un pequeño 'gap' energético (Figura 55), aproximadamente de 0,7 a 1,2eV. Para conseguir que a partir de la energía solar se produzca energía, se necesita crear una fuerza motriz para que los electrones que han sido liberados por dicha energía, viajen hacia una dirección, creando corriente eléctrica y así produciendo electricidad.

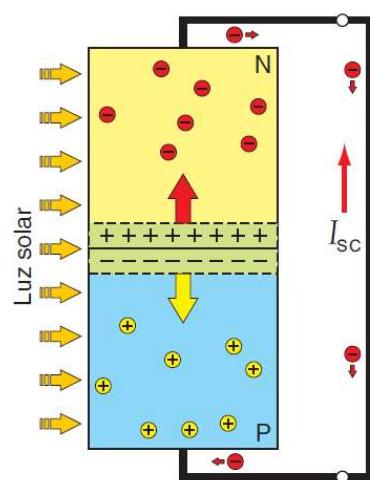
Para ello se doparán los semiconductores, uno será de tipo N y otro de tipo P. El tipo N, llamado donador, se va a dopar con sustancias con 5 e- en la capa de valencia. El tipo P, aceptador, con sustancias con 3 e- en la capa de valencia. Esto da lugar a un 1 e- débilmente unido al donador que puede dar el salto a la banda de conducción al aplicar una pequeña cantidad de energía al hueco que se produce en el tipo P, atrayendo así el electrón libre del semiconductor tipo N cuando se conecten los dos extremos con un cable eléctrico.

Para que se produzca la liberación del electrón, la energía solar tiene que llegar a la zona de agotamiento, siendo esta el lugar donde se producen los saltos de los electrones, esto es debido a que el tipo N es el semiconductor que produce los e-, cargándose negativamente. En cambio, el tipo P, es el semiconductor se carga positivamente, porque se producen los huecos en la capa de valencia más exterior.

El semiconductor utilizado en una célula solar es el silicio, el dopador del semiconductor tipo N es el fósforo (5 e- de valencia) y el dopador para el tipo P es el boro (3 e- de valencia).



Célula solar en circuito abierto.



Célula solar en cortocircuito.

Figura 56 Representación del movimiento de los electrones en una célula solar en circuito abierto y en cortocircuito. Fuente: [15]

LA CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA

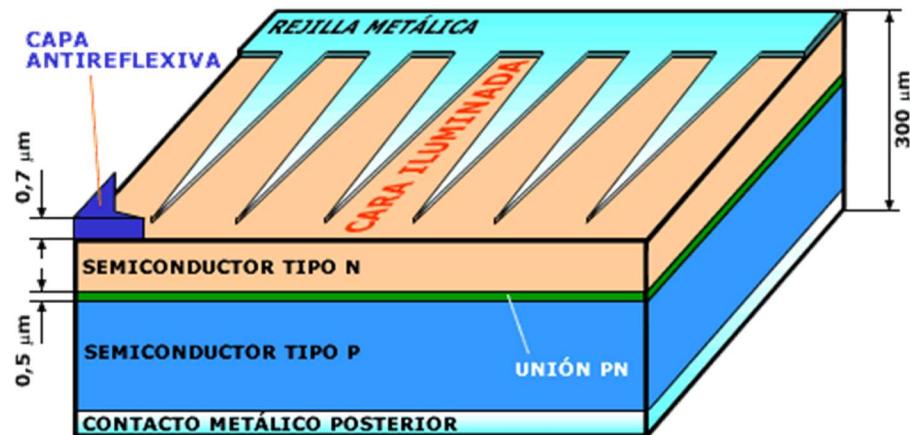


Figura 57 Esquema representativo de una célula fotovoltaica. Fuente: [18]

Detalles constructivos:

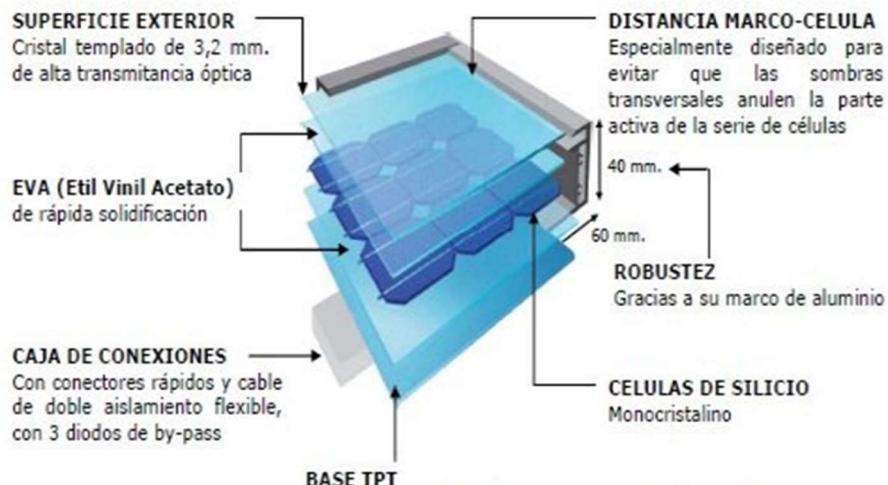


Figura 58 Detalles constructivos de una placa fotovoltaica. Fuente: [17]

Estructura básica de una célula;

- Material anti-reflectante: aumenta la energía solar absorbida
- Malla de metalización frontal: contactos metálicos para extraer la intensidad eléctrica
- Oblea: lámina de silicio con unión p-n muy próxima a la superficie
- Contacto metálico inferior: ocupa toda la cara inferior de la célula fotovoltaica.

Tipos de células cristalinas;

- Primera generación: células monocristalinas, policristalinas y de silicio amorfo. Tecnología extendida y comprobada
- Segunda generación: células de capa fina, células de alto rendimiento, células bifaciales y las células de multiunión. Implementadas, pero se espera que se produzcan mejoras
- Tercera generación: tecnología en investigación, o existen muy pocos productos en el mercado. Tecnologías; fosforo-aluminio, seleniuro y teluro de plomo, de bomba intermedia y células nanoestructuradas.

El módulo fotovoltaico es un conjunto de células fotovoltaicas combinadas en serie o en paralelo para obtener de esta manera la corriente y la tensión que se necesite. Además, están cubiertas por diferentes materiales para protegerlas de la intemperie, aislandolas eléctricamente y dando rigidez mecánica al conjunto. Los módulos tienen un tiempo de vida superior a los 25 años, en condiciones normales de operación.

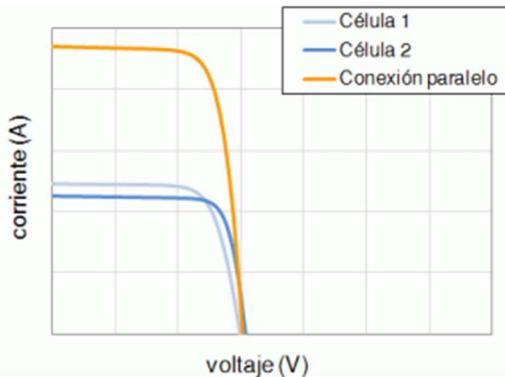


Figura 59 Representación del voltaje y la corriente con una conexión en paralelo de las células fotovoltaicas.
Fuente: [6]

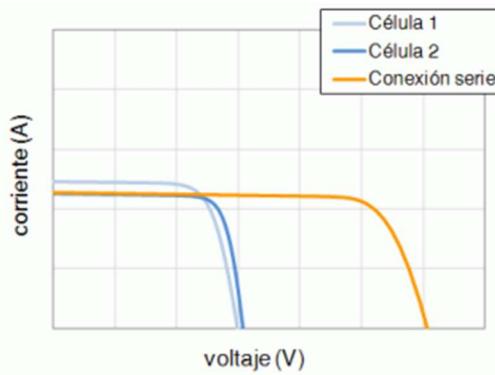


Figura 60 Representación del voltaje y la corriente con una conexión en serie de las células fotovoltaicas. Fuente:
[6]

CARACTERÍSTICAS DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO

El fabricante da una serie de características acerca del funcionamiento del módulo fotovoltaico:

Característica I-V condiciones STC:

- Irradiancia 100mW/cm^2 (1000W/m^2).
- Distribución espectral AM 1,5
- Incidencia normal
- Temperatura de la célula 25°C

Característica condiciones TONC: Temperatura de Operación Nominal de la Célula en las siguientes condiciones:

- Irradiancia 80mW/cm^2 (800W/m^2)
- Distribución espectral AM 1,5
- Incidencia normal
- Temperatura ambiente 20°C
- Velocidad del viento 1m/s
- El valor de TONC de las células actuales varía entre 42° y 47°C

El módulo fotovoltaico tiene tres tipos de características que las diferencian entre los diferentes tipos de módulos.

Característica eléctrica STC:

- Curva I-V



- Corriente de cortocircuito I_{sc}
- Tensión a circuito abierto V_{oc}
- Potencia máxima nominal
- Punto de máxima potencia P_{mp}
- Mínima potencia

Parámetros térmicos:

- T_{ONC}
- Coeficiente de T^a para la corriente de cortocircuito (α)
- Coeficiente de T^a para la tensión a circuito abierto (β)
- Coeficiente de variación de la máxima potencia con la T^a (γ)

Parámetros físicos (parámetros o rangos máximos de funcionamiento):

- Temperatura admisible del módulo
- Humedad relativa máxima
- Tensión máxima del sistema (la que puede soportar su aislamiento)
- Presión superficial
- Torsión máxima
- Granizo: tamaño de grano, velocidad de impacto
- Dimensiones
- Peso
- A veces aparece el factor de empaquetado: área de las células respecto al área total

ANEXO 2: RESULTADOS DEL VAN Y DEL TIR.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IPC		2,68%	5,36%	8,03%	10,71%	13,38%	16,06%	18,73%	21,41%	24,08%	26,76%	29,43%	32,11%
Pérdidas por degradación	0	0,006	0,012	0,018	0,024	0,03	0,036	0,042	0,048	0,054	0,06	0,066	0,072
Ahorro	0	8.297,46 €	9.464,12 €	9.817,84 €	10.168,56 €	10.516,16 €	10.860,77 €	11.200,97 €	11.537,95 €	11.870,22 €	12.196,14 €	12.516,51 €	12.831,12 €
Costes instalación	-38.460,83	-789.8316049	-810.40815	-830.984693	-851.56124	-872.1377811	-892.71433	-913.2908692	-933.86741	-954.4439573	-975.0205	-995.5970454	-1016.17359
Impuestos electricidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión inicial	-38460,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O&M	0	-789.8316049	-810.40815	-830.984693	-851.56124	-872.1377811	-892.71433	-913.2908692	-933.86741	-954.4439573	-975.0205	-995.5970454	-1016.17359
EBITDA	-38460,83	7.507,63 €	8.653,71 €	8.986,86 €	9.317,00 €	9.644,02 €	9.968,06 €	10.287,68 €	10.604,08 €	10.915,78 €	11.221,12 €	11.520,91 €	11.814,94 €
Impuesto de sociedades	0	-1876.908258	-2163.4274	-2246.713791	-2329.249	-2411.005479	-2492.0146	-2571.9203	-2651.0204	-2728.944868	-2805.2792	-2880.228617	-2953.73548
Cash Flow	-38460,83	5.630,72 €	6.490,28 €	6.740,14 €	6.987,75 €	7.233,02 €	7.476,04 €	7.715,76 €	7.953,06 €	8.186,83 €	8.415,84 €	8.640,69 €	8.861,21 €
Balance	-38460,83	-32.830,11 €	-26.339,82 €	-19.599,68 €	-12.611,93 €	-5.378,92 €	2.097,13 €	9.812,89 €	17.765,95 €	25.952,78 €	34.368,62 €	43.009,31 €	51.870,51 €

Tabla 36 Flujos de caja año 1-12 (2 inversores de 20kW y 80 placas fotovoltaicas).

AÑO	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
IPC	34,78%	37,46%	40,13%	42,81%	45,48%	48,16%	50,83%	53,51%	56,18%	58,86%	61,53%	64,21%	66,88%
Pérdidas por degradación	0,078	0,084	0,09	0,096	0,102	0,108	0,114	0,12	0,126	0,132	0,138	0,144	0,15
Ahorro	13.138,01 €	13.437,97 €	13.730,44 €	14.017,45 €	14.299,25 €	14.574,79 €	14.842,85 €	15.105,53 €	15.364,68 €	15.618,59 €	15.867,72 €	16.111,50 €	16.352,40 €
Costes instalación	-1036.750133	-1057.32668	-1077.903222	-1098.4798	-1119.05631	-1139.6329	-1160.209398	-1180.78594	-1201.362486	-1221.93903	-1242.515574	-1263.092118	-1283.668662
Impuestos electricidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión inicial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O&M	-1036.750133	-1057.32668	-1077.903222	-1098.4798	-1119.05631	-1139.6329	-1160.209398	-1180.78594	-1201.362486	-1221.93903	-1242.515574	-1263.092118	-1283.668662
EBITDA	12.101,26 €	12.380,65 €	12.652,53 €	12.918,97 €	13.180,19 €	13.435,15 €	13.682,64 €	13.924,75 €	14.163,32 €	14.396,65 €	14.625,20 €	14.848,41 €	15.068,74 €
Impuesto de sociedades	-3025.315416	-3095.16159	-3163.133564	-3229.7427	-3295.047809	-3358.7885	-3420.659689	-3481.1869	-3540.83049	-3599.16211	-3656.299871	-3712.103164	-3767.183871
Cash Flow	9.075,95 €	9.285,48 €	9.489,40 €	9.689,23 €	9.885,14 €	10.076,37 €	10.261,98 €	10.443,56 €	10.622,49 €	10.797,49 €	10.968,90 €	11.136,31 €	11.301,55 €
Balance	60.946,46 €	70.231,94 €	79.721,34 €	89.410,57 €	99.295,72 €	#####	119.634,06 €	130.077,62 €	140.700,11 €	151.497,60 €	162.466,50 €	173.602,81 €	184.904,36 €

Tabla 37 Flujos de caja año 13-25 (2 inversores de 20kW y 80 placas fotovoltaicas).

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IPC		2,68%	5,35%	8,03%	10,70%	13,38%	16,05%	18,73%	21,40%	24,08%	26,75%	29,43%	32,10%	34,78%	37,45%	40,13%
Pérdidas por de	0	0,006	0,012	0,018	0,024	0,030	0,036	0,042	0,048	0,054	0,060	0,066	0,072	0,078	0,084	0,090
Ahorro	0	8.963,90 €	10.165,51 €	10.537,28 €	10.907,35 €	11.272,18 €	11.631,33 €	11.983,45 €	12.331,69 €	12.672,94 €	13.006,12 €	13.333,02 €	13.652,40 €	13.963,40 €	14.266,21 €	14.561,64 €
Costes instalaci	-49.167,24	-1009.649273	-1035.953747	-1062.25822	-1088.562694	-1114.867167	-1141.17164	-1167.476114	-1193.780587	-1220.08506	-1246.389534	-1272.694007	-1298.998481	-1325.302954	-1351.607428	-1377.9119
Impuestos elect	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión inicial	-49.167,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O&M	0	-1009.649273	-1035.953747	-1062.25822	-1088.562694	-1114.867167	-1141.17164	-1167.476114	-1193.780587	-1220.08506	-1246.389534	-1272.694007	-1298.998481	-1325.302954	-1351.607428	-1377.9119
EBITDA	-49.167,24	7.954,25 €	9.129,56 €	9.475,02 €	9.818,79 €	10.157,31 €	10.490,16 €	10.815,97 €	11.137,91 €	11.452,85 €	11.759,73 €	12.060,33 €	12.353,40 €	12.638,09 €	12.914,61 €	13.183,73 €
Impuesto de so	0	-1988.562983	-2282.389136	-2368.75553	-2454.696881	-2539.327764	-2622.539073	-2703.993012	-2784.477542	-2863.2133	-2939.93475	-3015.08194	-3088.349872	-3159.523682	-3228.651321	-3295.93229
Cash Flow	-49.167,24	5.965,69 €	6.847,17 €	7.106,27 €	7.364,09 €	7.617,98 €	7.867,62 €	8.111,98 €	8.353,43 €	8.589,64 €	8.819,80 €	9.045,25 €	9.265,05 €	9.478,57 €	9.685,95 €	9.887,80 €
Balance	-49.167,24	-43.201,55 €	-36.354,38 €	-29.248,12 €	-21.884,03 €	-14.266,04 €	-6.398,43 €	1.713,55 €	10.066,99 €	18.656,63 €	27.476,43 €	36.521,67 €	45.786,72 €	55.265,29 €	64.951,25 €	74.839,04 €

Tabla 38 Flujos de caja durante 15 años para 5 baterías.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IPC		2,68%	5,35%	8,03%	10,70%	13,38%	16,05%	18,73%	21,40%	24,08%	26,75%	29,43%	32,10%	34,78%	37,45%	40,13%
Pérdidas por de	0	0,006	0,012	0,018	0,024	0,030	0,036	0,042	0,048	0,054	0,060	0,066	0,072	0,078	0,084	0,090
Ahorro	0	9.519,43 €	10.747,53 €	11.130,18 €	11.506,99 €	11.877,78 €	12.241,50 €	12.591,73 €	12.934,46 €	13.267,28 €	13.594,24 €	13.914,60 €	14.224,01 €	14.524,89 €	14.815,68 €	15.098,13 €
Costes instalaci	-57.340,84	-1177.494149	-1208.171499	-1238.84885	-1269.526198	-1300.203547	-1330.880896	-1361.558246	-1392.235595	-1422.91294	-1453.590294	-1484.267643	-1514.944993	-1545.622342	-1576.299692	-1606.97704
Impuestos elect	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión inicial	-57340,84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O&M	0	-1177.494149	-1208.171499	-1238.84885	-1269.526198	-1300.203547	-1330.880896	-1361.558246	-1392.235595	-1422.91294	-1453.590294	-1484.267643	-1514.944993	-1545.622342	-1576.299692	-1606.97704
EBITDA	-57340,84	8.341,94 €	9.539,36 €	9.891,33 €	10.237,47 €	10.577,57 €	10.910,61 €	11.230,17 €	11.542,22 €	11.844,36 €	12.140,65 €	12.430,33 €	12.709,07 €	12.979,26 €	13.239,38 €	13.491,15 €
Impuesto de so	0	-2085.485066	-2384.839317	-2472.83198	-2559.366497	-2644.392992	-2727.653592	-2807.542388	-2885.55717	-2961.09087	-3035.161781	-3107.582408	-3177.266854	-3244.815932	-3309.843892	-3372.78763
Cash Flow	-57340,84	6.256,46 €	7.154,52 €	7.418,50 €	7.678,10 €	7.933,18 €	8.182,96 €	8.422,63 €	8.656,67 €	8.883,27 €	9.105,49 €	9.322,75 €	9.531,80 €	9.734,45 €	9.929,53 €	10.118,36 €
Balance	-57340,84	-51.084,38 €	-43.929,87 €	-36.511,37 €	-28.833,27 €	-20.900,09 €	-12.717,13 €	-4.294,50 €	4.362,16 €	13.245,44 €	22.350,92 €	31.673,67 €	41.205,47 €	50.939,92 €	60.869,45 €	70.987,81 €

Tabla 39 Flujos de caja durante 15 años para 10 baterías.



ANEXO 3: PARTES ELECTRÓNICAS Y ELÉCTRICAS DE LA INSTALACIÓN

MultiPlus-II 48/3000/35-32	MultiPlus 48/500/6-16	PMP481500000	311 x 182 x 100	✓	✓	4,4	€ 490
	MultiPlus 48/800/9-16	PMP481800000	360 x 240 x 100	✓	✓	6,4	€ 578
	MultiPlus 48/1200/13-16	PMP482120000	406 x 250 x 100	✓	✓	8,2	€ 806
	MultiPlus 48/1600/20-16	PMP482160000	465 x 270 x 120	✓	✓	10	€ 916
	MultiPlus 48/2000/25-32	PMP482200000	506 x 234 x 146	✓	✓	15	€ 1.022
	MultiPlus 48/3000/35-16	PMP483020001	362 x 258 x 218	✓	✓	18	€ 1.548
	MultiPlus 48/3000/35-50	PMP483021010	362 x 258 x 218	✓	✓	18	€ 1.615
	MultiPlus-II 48/3000/35-32	PMP482305010	499 x 268 x 141	✓	✓	19	€ 1.204
	MultiPlus-II 48/3000/35-32 GX	PMP482306000	499 x 268 x 141	✓	✓	20	€ 1.545
	MultiPlus-II 48/5000/70-50	PMP482505010	565 x 320 x 149	✓	✓	30	€ 1.830
	MultiPlus-II 48/5000/70-50-GX	PMP482506000	565 x 320 x 149	✓	✓	31	€ 2.272
	Current Transformer 100A:50mA for MultiPlus-II (1 m)	CTR110000500		✓			€ 50
	Current Transformer 100A:50mA for MultiPlus-II (5 m)	CTR110000550		✓			€ 58
	Current Transformer 100A:50mA for MultiPlus-II (20 m)	CTR110002050		✓			€ 103
	MultiPlus 48/5000/70-100	PMP485021010	444 x 328 x 240	✓	✓	30	€ 2.306
Quattro 48/15000/200	Multi RS Solar 48/6000/100-450/80	PMR482602000	425 x 440 x 125	✓		12	€ 2.498
	MultiPlus-II 48/8000/110-100	PMP482805000	642 x 363 x 206	✓	✓	42	€ 3.407
	MultiPlus-II 48/10000/140-100	PMP483105000	677 x 363 x 206	✓	✓	49	€ 4.077
	MultiPlus-II 48/15000/200-100	PMP483150000	810 x 404 x 210	✓	✓	75	October
	Quattro 48/15000/200	QUA485021010	444 x 328 x 240	✓	✓	29	€ 2.799
	Quattro-II 48/5000/70-50/50	QUA482504010	565 x 320 x 149	✓	✓	31	€ 2.334
	Quattro 48/8000/110-100/100	QUA488024000	470 x 350 x 280	✓	✓	41	€ 3.591
	Quattro 48/10000/140-100/100	QUA481030010	470 x 350 x 280	✓	✓	45	€ 4.290
	Quattro 48/15000/200-100/100	QUA483150000	572 x 488 x 344	✓	✓	72	€ 5.636

Figura 61 Precios de los inversores/cargadores. Fuente: [56]



Kit Medidor Analizador Consumo 24h SAJ SMART METER para vertido cero

Ref: 74038 / MDDR-PR-NVRS-R5

149,95 €

21% IVA incluido.

Elige Voltaje:

Monofásico
Reservar, envío a partir del 29/07/2022

Trifásicos
En Stock, envío de 3 a 5 semanas

Figura 62 Precio del Medidor Analizador de Consumo. Fuente: [50]



Tiempo de entrega: De 3 a 5 días laborales excepto Baleares y Canarias
Envío: A península 10 €. Gratuito a partir de 350 €

Años de garantía: 2 años
Pago: SSL Seguro
Días de devolución: 15

Armario Rack 8 uds US2000, 5 uds, US3000 Pylontech

Armario rack para 8 baterías Pylontech US2000, 6 baterías Pylontech US2500, 5 baterías Pylontech de US3000. Puerta de vidrio frontal con marco de puerta sólido, cerradura pequeña; panel de metal sólido trasero; paneles laterales extraíbles con pestillos de ABS; entrada de cable superior e inferior. Peso: 26.5kg

Cantidad - +

294,00 € con IVA

¡Financia con CETELEM!

Págalo a plazos con [cetelem](#)

Figura 63 Armario Rack. Fuente: [51]



☒ Monitor Color Control GX Victron



Figura 64 Monitor color Control GX Victron. Fuente: [48]