

GRADO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA INDUSTRIAL

Trabajo Fin de Grado

DESARROLLO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
CONECTADA A RED EN LA CUBIERTA DE UN COMPLEJO
DEPORTIVO

Autor: Jorge Rodríguez Barrena

Tutor/es: Dr. Rafael Peña Capilla

2021

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

Escuela Politécnica Superior

GRADO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA INDUSTRIAL

Trabajo Fin de Grado

**DESARROLLO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
CONECTADA A RED EN LA CUBIERTA DE UN COMPLEJO
DEPORTIVO**

Autor: Jorge Rodríguez Barrena

Tutor: Dr. Rafael Peña Capilla

TRIBUNAL:

Presidente: Fco. Javier Acevedo Rodríguez

Vocal 1º: Pilar Martín Martín

Vocal 2º: Rafael Peña Capilla

FECHA: 08/09/2021

Contenido

Ilustraciones.....	4
Ecuaciones.....	6
Tablas.....	7
Palabras clave.....	8
Resumen.....	9
Summary.....	10
Capítulo 1. Antecedentes y objetivos.....	11
Capítulo 2. Introducción a las Energías renovables.....	12
2.1. Energías Renovables.....	12
Capítulo 3. Introducción a la Energía Solar Fotovoltaica.....	17
3.1. Energía Solar Fotovoltaica.....	17
3.2. Paneles fotovoltaicos.....	19
3.3. Inversores.....	25
Capítulo 4. Diseño de la instalación.....	31
4.1. Emplazamiento y características generales.....	31
4.2. Disposición de los paneles.....	33
4.3. Paneles fotovoltaicos:.....	35
4.4. Estructuras de los paneles.....	37
4.5. Distribución de los paneles.....	38
5.6. Inversor.....	39
5.7. Variaciones de temperatura.....	44
4.8. Protecciones.....	46
4.8.1. Cuadros de nivel I.....	46
4.8.2. Cuadros de nivel II.....	48
4.8.3 Protección de entrada al inversor.....	49
4.8.4. Protecciones de corriente alterna.....	50

4.9. Cableado	50
4.9.1. Tipo de cableado.....	50
4.9.2. Cálculos de cableado.	51
4.10. Puesta a tierra.....	53
Capítulo 5. Simulaciones con PVGIS.....	55
Capítulo 6. Análisis económico.....	59
Capítulo 7. Planificación	63
Capítulo 8. Conclusiones.....	64
Capítulo 9. Bibliografía.	65
Capítulo 10. Anexos	67

Ilustraciones

Ilustración 1. Balance eléctrico	13
Ilustración 2. Generación renovable/no renovable de junio de 2020	14
Ilustración 3. Curva de la energía eólica acumulada	14
Ilustración 4. Curva de la hidráulica eólica acumulada.....	15
Ilustración 5. Curva de la energía solar fotovoltaica acumulada.....	15
Ilustración 6. Curva de la energía solar térmica acumulada.....	16
Ilustración 7. Instalación fotovoltaica de generación	18
Ilustración 8. Instalación fotovoltaica de autoconsumo	18
Ilustración 9. Modelo equivalente de un panel fotovoltaico	21
Ilustración 10. Curva del punto del MPP	22
Ilustración 11. Variación de la corriente según la irradiancia y de la temperatura	23
Ilustración 12. Conexión en serie de módulos.....	24
Ilustración 13. Conexión en paralelo de módulos	25
Ilustración 14. Inversor monofásico/trifásico.....	26
Ilustración 15. Señal SPWM	27
Ilustración 16. Señal SVPWM	28
Ilustración 17. Control del ángulo de desfase.....	29
Ilustración 18. Afectación del desfase a la potencia.....	29
Ilustración 19. Localización en Alcalá de Henares	31
Ilustración 20. Situación en el polideportivo.....	32
Ilustración 21. Inclinación y azimut	33
Ilustración 22. Cálculo de distancia entre módulos.....	34
Ilustración 23. Características del módulo fotovoltaico	36
Ilustración 24. Módulo fotovoltaico	36
Ilustración 25. Ficha técnica de las estructuras	37
Ilustración 26. Medidas azotea a lo largo	38
Ilustración 27. Medidas azotea a lo ancho.....	38
Ilustración 28. Azotea por zonas	39
Ilustración 29. Características del inversor.....	40
Ilustración 30. Gráfica del sobredimensionamiento	43
Ilustración 31. Características del cuadro de nivel I.....	47
Ilustración 32. Ejemplo de cuadro de nivel I.....	48

Ilustración 33. Esquema de cuadro de nivel II	48
Ilustración 34. Ejemplo de cuadro de nivel II	49
Ilustración 35. Conductividad cobre.....	51
Ilustración 36. Fórmula de sección de cable	51
Ilustración 37. Sección estandarizada de cable	52
Ilustración 38. Simulaciones del PVGIS	56
Ilustración 39. Análisis de rentabilidad	61
Ilustración 40. Diagrama de Gantt.....	63

Ecuaciones

Ecuación 1. Corriente de una célula fotovoltaica	21
Ecuación 2. Distancia entre paneles	34
Ecuación 3. Altura de un panel fotovoltaico	35
Ecuación 4. Temperatura de una célula fotovoltaica.....	44
Ecuación 5. Incidencia de la temperatura en los distintos parámetros	44
Ecuación 6. Cálculo de la sección de cables I	52
Ecuación 7. Cálculo de la sección de cables II.....	53
Ecuación 8. Cálculo del rendimiento anual	58
Ecuación 9. Cálculo del performance ratio	58

Tablas

Tabla 1. Valores a los que se somete cada inversor	42
Tabla 2. Resumen de la variación de los valores en función de la temperatura	45
Tabla 3. Resumen de la aceptación del inversor	45
Tabla 4. Inversión inicial	59

Palabras clave

Energía eléctrica: es la energía que se crea cuando existen dos conectados por un conductor eléctrico y estos tienen distinto potencial.

Módulo fotovoltaico: es el elemento encargado de captar la energía solar y transformarla en energía eléctrica.

Rentabilidad económica: es la capacidad de generar beneficios a través de unos activos o capital invertido.

Resumen

Hoy en día la energía fotovoltaica es uno de los métodos de generación eléctrica que más se está implantando, debido a que es una fuente de energía renovable.

El presente estudio pretende abarcar todo el diseño de una instalación fotovoltaica, para que la implantación de este tipo de instalaciones sea un hábito, en lugar de un reto para cualquiera de los organismos públicos o empresas, ya que permite un gran ahorro económico, el cual justificaremos con un análisis de rentabilidad a lo largo de este proyecto.

Summary

Currently, photovoltaic energy is one of the most widely used methods of electricity generation, because it is a renewable energy source.

This project aims to cover the full design of a photovoltaic installation, so that the implementation of this type of installation becomes a habit, rather than a challenge for any public body or company, as it allows great economic savings, which we will justify with a profitability analysis throughout this project.

Capítulo 1. Antecedentes y objetivos

El proyecto a ejecutar es una instalación fotovoltaica, la cual va a estar localizada en el tejado del complejo polideportivo de Espartales en Alcalá de Henares.

La dimensión de la cubierta del polideportivo es de 3036m², y al tratarse de una superficie plana, podremos orientar la instalación hacia al sur sin ningún tipo de problemas, para aprovechar al máximo de esta manera la energía producida por el sol.

El objetivo de este proyecto es el diseño de una instalación fotovoltaica de 194.4 kW de potencia, que se realiza con el fin de suplir parte del consumo que demanda una instalación de este tipo, pero al tratarse de una instalación fotovoltaica, no podrá ser la única fuente de consumo eléctrico de esta instalación.

Una vez hayamos diseñado la instalación, nos ayudaremos del software PVGIS, para la simulación de la producción real de kW-h que generan nuestros paneles, así como la realización de un análisis económico para ver la rentabilidad de la llevar a cabo de nuestra instalación fotovoltaica.

Y como otro objetivo del proyecto, es dar a conocer un poco más las energías renovables, centrándonos principalmente en la energía solar fotovoltaica y cómo esta es generada.

Capítulo 2. Introducción a las Energías Renovables.

En este primer capítulo, se realizará una introducción a las energías renovables, y además se presentarán una serie de conceptos básicos que nos permitirán definir las bases sobre las que se construye este trabajo.

2.1. Energías Renovables.

Una buena pregunta para comenzar, sería si realmente sabemos qué son las energías renovables. Las energías renovables son aquellas que provienen de recursos naturales que consideramos inagotables, ya que proceden de una fuente inagotable o se van generando de manera continuada por la propia naturaleza; los Tipos principales de energía renovables son la energía geotérmica, la energía solar, la energía eólica, la energía biomasa, la energía hidráulica y la energía mareomotriz. Más adelante, realizaremos una breve introducción a cada tipo citado anteriormente.

Un gran aspecto que debemos de tener en cuenta es la diferencia entre energías renovables y energía limpias, ya que las energías limpias o también llamadas energías verdes, son aquéllas que al obtenerse o utilizarse no emite contaminación, es decir, no tienen ningún impacto negativo sobre el medio ambiente. Ahora bien, ¿todas las energías verdes son renovables? Pues la respuesta es que no, aunque una gran mayoría sí lo sea no se pueden asociar términos, para ello podemos analizar el ejemplo del gas natural, ya que es una energía verde al no generar residuos, sin embargo, no lo podemos considerar energía renovable al ser un recurso limitado.

Por último, antes de pasar al siguiente punto, hablaremos un poco de cómo influyen las energías renovables en el mercado eléctrico. En España, hay instalados 110462MW, de los cuales un 56,82% corresponden a energías renovables y el 43,18% restante a energía no renovable, con este dato podemos ver claramente como las energías renovables tienen una gran importancia, sin embargo, el aspecto más llamativo de estas energías es el precio al que se venden, ya que en algunos casos salen a mercado a precio cero, lo cual se debe a que al ser una energía que depende de la naturaleza en gran medida, una vez generada debe de venderse sí o sí a la red eléctrica española, por eso sale al mercado con un precio cero, aunque realmente se venderá al precio de casación, el cual es determinado por el conjunto de todas las fuentes productoras de energía, tanto renovables como no

renovables. En la siguiente ilustración podemos ver los GWh que aporta cada tipo de generación, en concreto del día 26 de junio, que puede ser un típico día de comienzos de verano.



Viernes, 26 junio 2020
Estadística diaria del sistema eléctrico español nacional
Datos provisionales a 08/10/2020 • 08:36:21

Balace eléctrico (GWh) (1)	Día	Mes	%Δ Mes	Año	%Δ Año	Año móvil (2)	%Δ Móvil
Hidráulica	84	1.954	39,5	17.356	44,6	30.071	17,2
Turbinación bombeo (3)	0	141	185,8	1.466	76,5	2.281	57,6
Nuclear	120	3.055	-23,6	25.570	-7,6	53.715	-4,3
Carbón	18	313	-30,4	3.023	-64,2	7.259	-76,8
Fuel + Gas (4)	8	246	-44,4	1.968	-30,4	4.835	-24,1
Ciclo combinado (5)	167	3.406	-25,9	16.674	-18,8	51.391	33,6
Hidroeléctrica	0	1	-48,8	7	-20,1	21	5,0
Eólica	120	2.976	3,8	25.133	-6,4	52.526	8,2
Solar fotovoltaica	59	1.536	90,1	6.982	58,4	11.827	40,9
Solar térmica	23	596	-11,5	1.905	-29,4	4.372	-16,9
Otras renovables (6)	13	325	33,2	2.079	22,1	3.994	11,0
Cogeneración (7)	75	1.902	-10,0	12.829	-13,4	27.626	-7,6
Residuos no renovables (8)	5	132	-10,6	932	-16,3	2.042	-14,5
Residuos renovables (9)	1	38	-42,2	299	-28,0	773	-14,0
Generación	694	16.622	-6,9	116.223	-6,5	252.731	-2,2
Consumo en bombeo	0	-197	206,1	-2.635	87,4	-4.257	79,3
Saldo intercambios internacionales (10)	8	207	-46,5	4.135	-15,2	6.122	-40,0
Demanda transporte (b.c.)	702	16.632	-8,5	117.723	-7,9	254.596	-4,3
Demanda corregida (10)	-	-	-9,6	-	-	-	-5,4
Pérdidas en transporte	-9	-261	12,2	-1.994	10,5	-4.115	6,2
Demanda distribución	693	16.371	-8,8	115.729	-8,1	250.481	-4,5

Estructura de generación

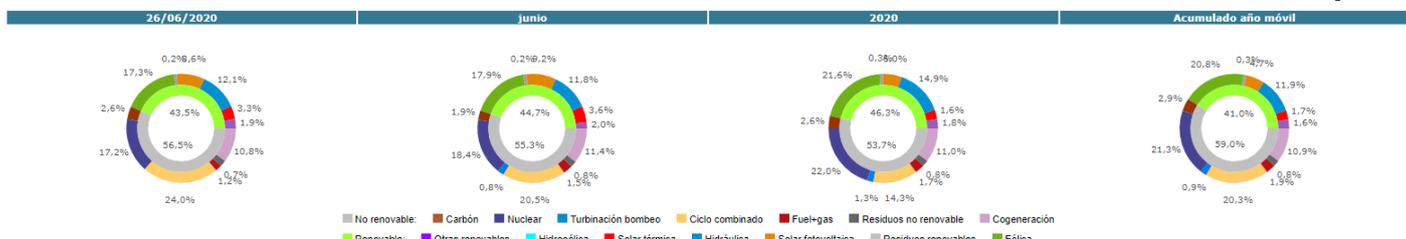


Ilustración 1. Balance eléctrico (Fuente: <https://www.ree.es/es>)

En la ilustración mostrada, podemos observar que, tanto en el día en cuestión, como a lo largo del 2020, prevalece la generación de energía no renovable, y esto se debe a que, al depender de la propia naturaleza, no siempre generan en la misma medida, esto último lo veremos muy bien en la siguiente ilustración, ya que incluso en ese mes, no hay una ninguna que se imponga rotundamente.

EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN RENOVABLE Y NO RENOVABLE (%) | SISTEMA ELÉCTRICO: Nacional

Del 01/06/2020 al 30/06/2020

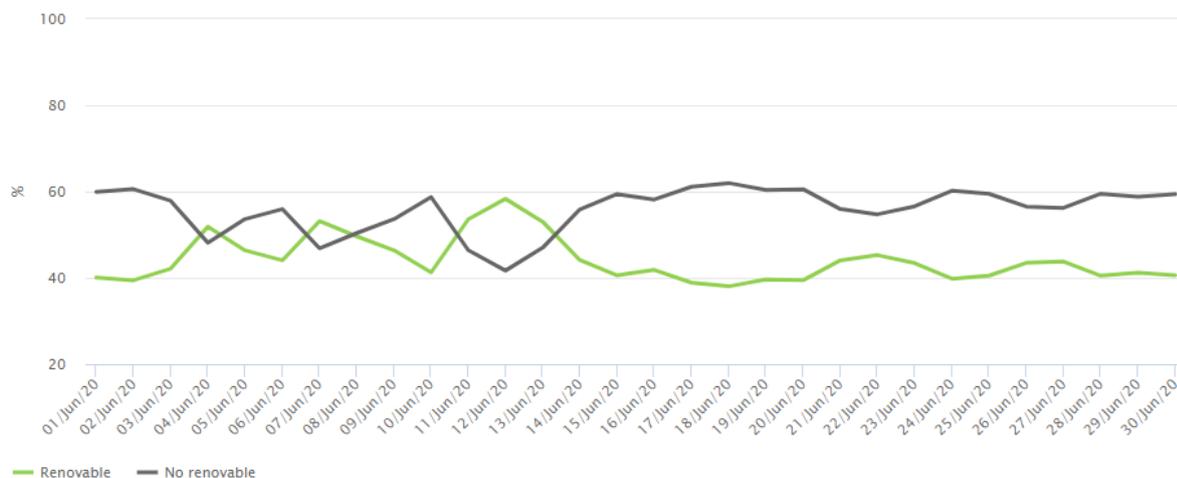


Ilustración 2. Generación renovable/no renovable de junio de 2020 (Fuente: <https://www.ree.es/es>)

A continuación, pasaremos a realizar una breve introducción de los principales tipos de energía renovable y como varía su producción a lo largo del día nombrado anteriormente.

- **Eólica:** el uso de esta energía es un tanto peculiar, ya que no podemos disponer de ella de manera constante a lo largo de todo el año, sin embargo, al tratarse de una energía renovable, y al ser la entrada del verano el día en estudio (día cercano a abril que suele ser el mes con vientos más fuertes), podemos ver como a las 17:40 se produce el pico de uso de esta energía, por lo que el día en general es un día con mucho viento, llegando a ser incluso la energía eólica la más utilizada en ese momento.



Ilustración 3. Curva de la energía eólica acumulada (Fuente: <https://www.ree.es/es>)

- **Hidráulica:** podemos observar que el uso de esta energía varía demasiado a lo largo de todo el día, esto también se debe a la época del año, ya que el recurso natural del agua empieza a escasear, por lo que no podríamos depender exclusivamente de esta tecnología, sumado a que es un tipo de energía que puede cambiar su producción de manera muy rápida abriendo o cerrando el caudal, por lo que es muy utilizada cuando se quiere cubrir algún pico de consumo.

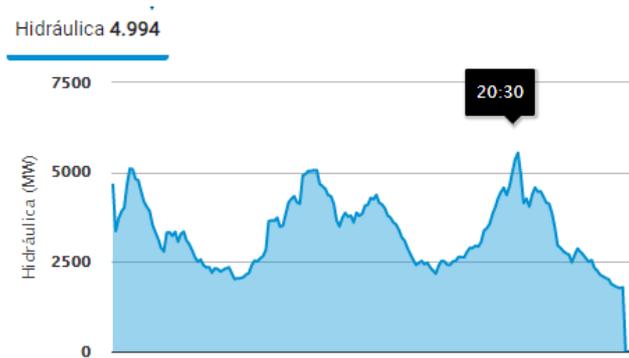


Ilustración 4. Curva de la hidráulica eólica acumulada (Fuente: <https://www.ree.es/es>)

- **Fotovoltaica:** se trata también de una energía renovable, que en este caso solo nos aporta energía durante el día debido a que por la noche no hay luz, por eso su uso varía describiendo una campana, obviamente su pico de generación de energía se produce a mediodía.

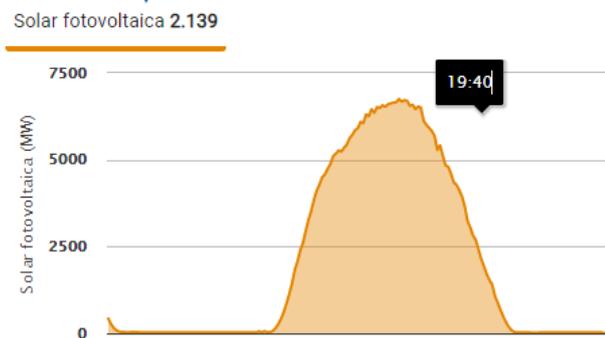


Ilustración 5. Curva de la energía solar fotovoltaica acumulada (Fuente: <https://www.ree.es/es>)

- **Solar termoeléctrica:** su uso sigue un patrón similar al de la energía fotovoltaica, ya que ambas dependen del sol, sin embargo, mientras que la fotovoltaica genera electricidad directamente a partir del sol. La solar térmica concentra la luz del sol para generar calor, además del calor que se utiliza para ejecutar el motor térmico, que hace rotar a un generador para producir electricidad, por eso genera algo de energía aun con ausencia de sol.

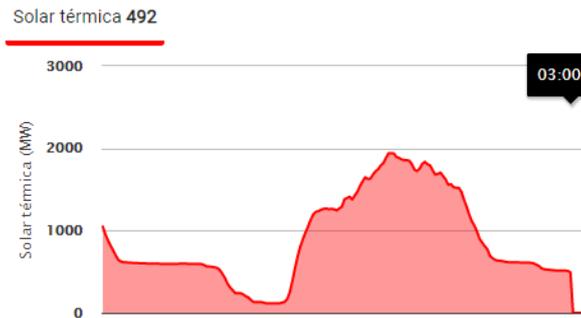


Ilustración 6. Curva de la energía solar térmica acumulada (Fuente: <https://www.ree.es/es>)

Capítulo 3. Introducción a la Energía Solar Fotovoltaica

En este apartado vamos a realizar un pequeño resumen de la energía solar fotovoltaica y explicaremos cada uno de los elementos que están presentes en una instalación de este tipo.

3.1. Energía Solar Fotovoltaica.

Para comenzar, hablaremos un poco más a fondo de la energía solar fotovoltaica. La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía limpia y renovable que genera electricidad a partir de radiación solar. Esta generación se produce gracias al efecto fotovoltaico, que permite que algunos materiales sean capaces de absorber fotones y liberar electrones, lo cual da lugar al movimiento que produce corriente eléctrica. Este proceso se produce en una célula fotovoltaica, la cual puede estar compuesta de distintos materiales, como bien puede ser el silicio monocristalino, el silicio policristalino, o el silicio amorfo, siempre sin olvidarnos de otros semiconductores de capa fina.

El tipo de material utilizado va a definir directamente la eficiencia de las células fotovoltaicas, que pueden variar entre 18 y un 20% en el caso del silicio monocristalino que es el que nos aporta mayor eficiencia entre las tecnologías convencionales, pasando por una eficiencia comprendida entre el 16 y el 17,5% que nos proporciona el silicio policristalino, y llegando por último a las eficiencias más bajas de entre 8 y un 9% que nos ofrece el silicio amorfo, también cabe recalcar que esta pérdida de eficiencia se ve reflejada en un menor precio.

En cuanto al tipo de plantas fotovoltaicas podemos diferenciar en mayor medida las que sí están conectadas a red y las que no lo están. Una vez hemos realizado esta diferencia, podemos encontrar dos tipos dentro de las que sí están conectadas a red que son las siguientes:

- **Central fotovoltaica conectada a la red para venta de la electricidad:** es la referida a las centrales que toda su energía producida en los paneles es vertida a la red eléctrica.

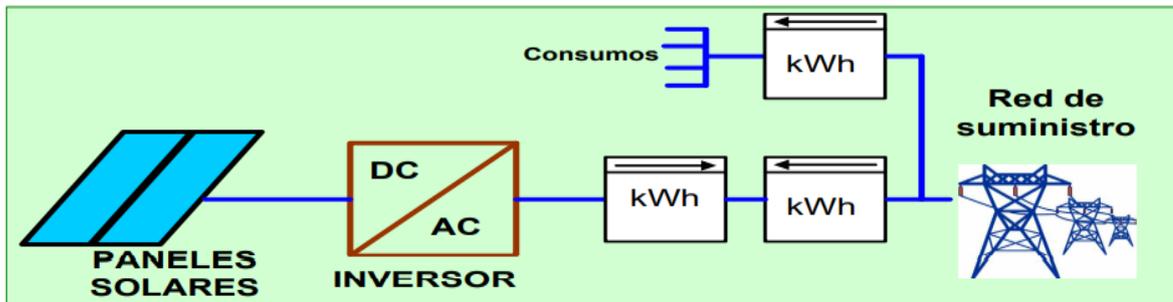


Ilustración 7. Instalación fotovoltaica de generación

[1] INTRODUCCIÓN A LAS EERR – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València

- **Central conectada a red con autoconsumo:** son los casos en los que parte de la electricidad es consumida por el propio productor y el resto se vierte a la red, permitiéndose también que el productor tome de la red energía cuando le sea necesario cubrir sus necesidades ya que la unidad de la que dispone no le permite suministrar la suficiente.

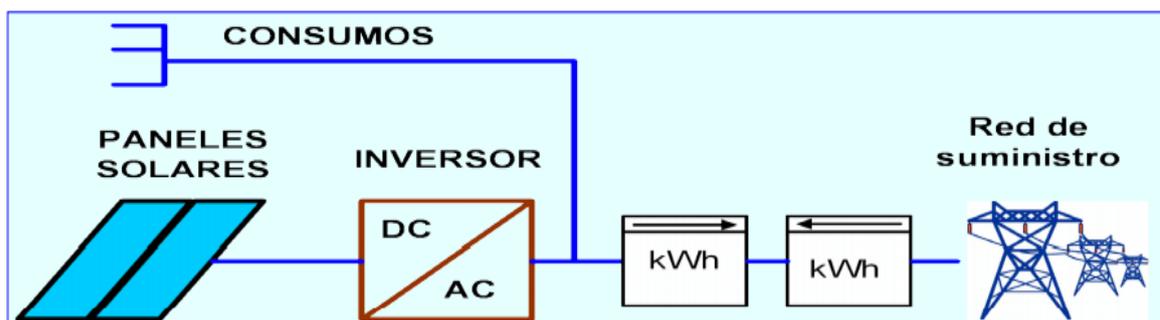


Ilustración 8. Instalación fotovoltaica de autoconsumo

[1] INTRODUCCIÓN A LAS EERR – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València

Debido a que la realización del trabajo es una instalación fotovoltaica conectada a red, vamos a pasar a hablar de los 3 elementos básicos con los que cuentan este tipo de instalaciones:

- **Paneles fotovoltaicos:** es un conjunto de células fotovoltaicas cuyo objetivo es captar la radiación solar y transforma la luz en energía eléctrica.
- **Inversores:** su principal función es convertir la energía generada por los paneles, que es corriente continua en corriente alterna.
- **Transformadores:** su principal función es adaptar la corriente alterna que ha sido generada los inversores, que es de baja tensión, convertirla en media tensión, hasta 36kV, para que así pueda ser vertida a la red eléctrica. En los casos en los que se conceda un punto para conectarse a red en baja tensión, no será necesario disponer de un transformador en nuestra instalación.

3.2. Paneles fotovoltaicos.

Como hemos comentado anteriormente, el panel fotovoltaico está formado por células solares fotovoltaicas, que son los dispositivos encargados de capturar la energía solar y convertir parte de ella en energía eléctrica. Hay distintos tipos de tecnologías de células fotovoltaicas, cada una de ellas tiene sus características y son distintas unas de otras. Algunas de estas tecnologías, como puede ser las células monocristalinas y policristalinas, son tecnologías muy desarrolladas ya que se han utilizado desde hace bastante tiempo en distintas aplicaciones, mientras que por otro lado hay otros tipos de tecnologías que están aún por madurar ya que se han desarrollado muy recientemente y no hay mucha experiencia con ellas.

En la mayoría de los casos, las células fotovoltaicas se asocian y encapsulan en módulos fotovoltaicos los cuales posteriormente se van a utilizar para construir sistemas solares fotovoltaicos. En algunas aplicaciones también se utilizan estas células sin formar parte de un panel fotovoltaico, cómo puede ser aplicaciones de baja potencia, calculadoras o relojes. Durante el diseño de los generadores fotovoltaicos se tendrán en cuenta la potencia, la tensión y la corriente de las células solares, las cuales se encontrarán

asociadas de tal manera que presenten unas características las cuales han sido predeterminadas por dicha asociación. Estos parámetros eléctricos se verán condicionados en gran medida por la radiación incidente y la temperatura de trabajo de las células fotovoltaicas.

En siguiente punto a desarrollar, es la manera por la cual las células fotovoltaicas son capaces de producir una corriente eléctrica. Esta corriente se produce porque en el interior de las células fotovoltaicas se genera una fuerza electromotriz. Para que se genere esta fuerza electromotriz los fotones, que son los paquetes de energía procedente del Sol, inciden sobre los electrones que hay en la unión semiconductor del interior de la célula fotovoltaica, y en función de la energía de este fotón se pueden dar 3 situaciones:

- El primer caso sería si la energía del fotón es inferior a la energía necesaria para que un electrón pase a la banda de conducción, en este caso el fotón llevaría a cabo una interacción muy débil con la célula fotovoltaica y acabaría atravesándola como si fuese transparente.
- El segundo caso sería si la energía del fotón fuese igual a la energía necesaria para que un electrón pasase a formar parte de la banda de conducción, en este caso el fotón tendrá una interacción con electrón y se absorberá toda la energía del fotón lo que daría lugar a un electrón libre porque hay posibilidad de establecer una corriente eléctrica.
- La última situación sería si la energía del fotón fuese superior a la energía necesaria para que el electrón pase a formar parte de la banda, dado este caso el fotón interaccionará con electrón, sin embargo, una parte de la energía no será absorbida y se liberará en forma de calor por lo que da lugar a unas pérdidas que en el caso anterior no existían.

Toda esta explicación se puede ver plasmada en el siguiente modelo:

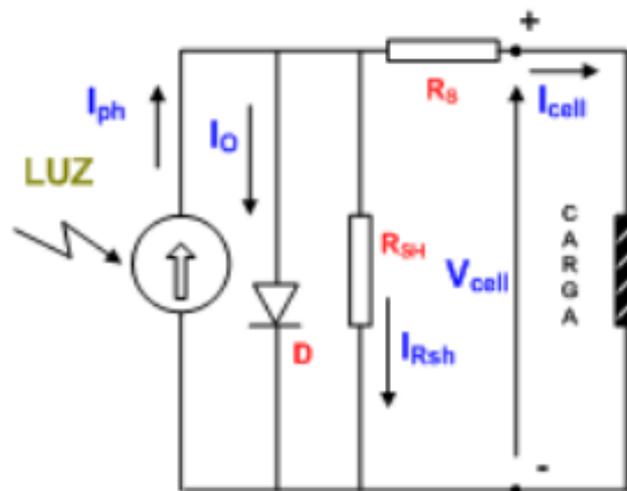


Ilustración 9. Modelo equivalente de un panel fotovoltaico

[2] MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València

En la ilustración 9, Se muestra el circuito equivalente de una célula solar fotovoltaica donde el generador de corriente I_{ph} es la fuente de corriente continua que equivale a la máxima corriente que es capaz de generar la célula, el diodo D representa la unión de los semiconductores de tipo P y N, la resistencia R_{sh} modela las posibles fugas de corriente en la unión p-n y la resistencia R_s modela las caídas óhmicas en las capas semiconductoras y en los contactos de la célula.

La manera de poder calcular la corriente exacta que circula por el interior de la célula sería mediante la siguiente ecuación:

$$I_{cell} = I_{ph} - I_o * \left(e^{\left[\frac{q * (V_{cell} + I_{cell} * R_s)}{m k T} \right]} - 1 \right) - \frac{V_{cell} + I_{cell} * R_s}{R_{sh}}$$

Ecuación 1. Corriente de una célula fotovoltaica

Los parámetros que no hemos mencionado aún sería la I_o , que es la corriente de oscuridad; m , que es el factor de idealidad del diodo; q , que es la carga del electrón; k , que es la constante de Boltzman y T , la temperatura de funcionamiento de la célula. El

factor de idealidad es un número que, en células comerciales de silicio cristalino, suele alcanzar valores alrededor de 1.3, mientras que, en células ideales, valores de 1.

Una vez hemos conocido un poco mejor el funcionamiento interno de un panel fotovoltaico, el siguiente paso sería hablar de los parámetros eléctricos que están asociados a la generación que realizan. Los parámetros eléctricos que son la tensión, la corriente y la potencia generada por una célula fotovoltaica varían en función de las condiciones ambientales bajo las que se encuentren trabajando, ya que éstas sufren variaciones a lo largo del día. Debido a estas variaciones cuando conocemos las características nominales de un panel fotovoltaico deben darse bajo unas condiciones estándar, las denominadas condiciones STC que son:

- Irradiancia de 1000W/m^2
- Temperatura de la célula de 25°C
- Espectro AM1.5 G
- Incidencia de la luz normal a la célula

La ilustración 10 muestra la curva típica de corriente intensidad de una célula, en la que se pueden distinguir distintas regiones de funcionamiento las cuales vamos a mostrar la siguiente ilustración:

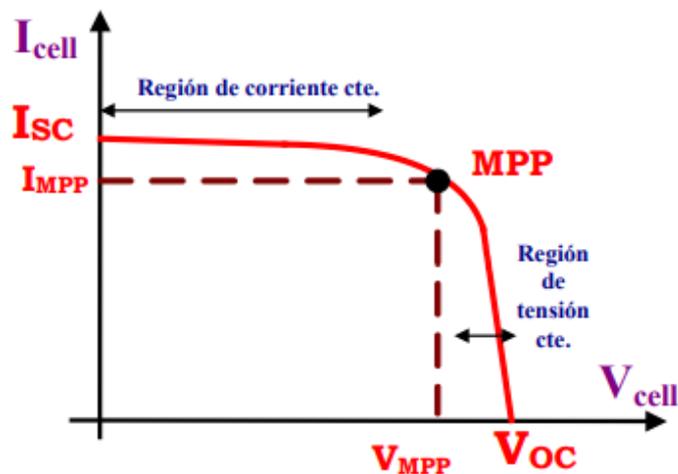


Ilustración 10. Curva del punto del MPP

[2] MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València

Como podemos observar en la ilustración anterior, el punto de máxima potencia está en el codo de la curva, ya que si nos desplazamos hacia la derecha la corriente bajará muy

rápidamente por lo que sería mucho más pequeña y en consecuencia la potencia disminuiría considerablemente. El mismo fenómeno se daría si moviésemos el punto hacia la izquierda, pero en este caso sobre el parámetro de la tensión, el cual disminuiría muy rápidamente provocando un descenso de la potencia producida. Por estos motivos el punto intermedio es el punto de máxima potencia y representa las condiciones de trabajo bajo las que el panel produce la máxima energía posible. Esta curva también sufre variaciones en función de los parámetros de la irradiancia y de la temperatura que hemos mencionado anteriormente.

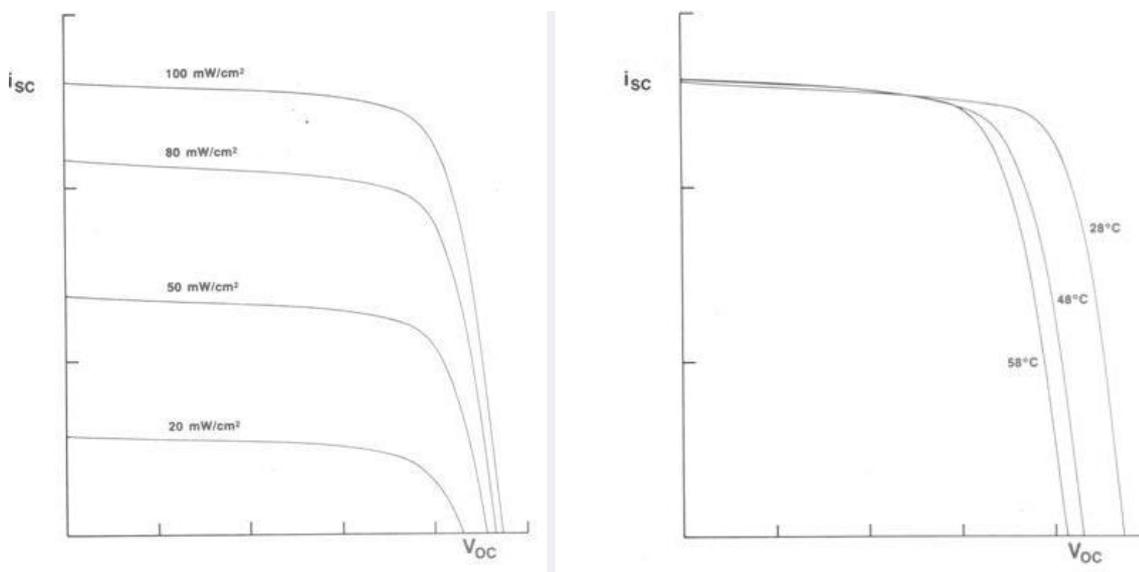


Ilustración 11. Variación de la corriente según la irradiancia y de la temperatura

[2] *MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València*

En la ilustración 11, podemos observar dos gráficas. En la gráfica de la izquierda podemos ver la variación del punto de máxima potencia en función de las variaciones de la irradiancia, y como podemos observar según disminuye la irradiancia, disminuye la corriente de cortocircuito y en consecuencia el punto de máxima potencia disminuye, aunque las variaciones sobre la corriente de circuito abierto son mínimas. En la gráfica derecha podemos observar la variación del punto de máxima potencia en función de las variaciones de temperatura, variaciones que apenas afectan a la corriente de cortocircuito, pero de lo contrario afectan directamente a la tensión de circuito abierto, de tal manera

que, si la temperatura disminuye, la tensión aumenta y en consecuencia aumenta el valor del punto de máxima potencia.

Una instalación solar fotovoltaica tiene varios puntos de trabajo, pero el más importante de ellos es el punto de máxima potencia o PMP, ya que es las condiciones de este punto cuando la instalación fotovoltaica genera la máxima energía debido a unas condiciones de operación determinada. Debido a las características de generación que se dan en dicho punto, es necesario incluir sistema de seguimiento del punto de máxima potencia en los inversores a los módulos fotovoltaicos.

Por último, vamos a comentar como están conectadas internamente las células fotovoltaicas dentro de un panel, ya que la conexión en serie de las células aumenta la tensión de salida del panel mientras que la conexión en paralelo de las células hace que aumente la corriente, Mientras que la corriente que circula es la misma por todas las células.

La conexión en serie es mediante un cable de cobre estañado plano que une el terminal positivo con el negativo, siendo el negativo la parte que se habitualmente expone a la radiación solar y el positivo se encuentra en la zona interior del panel a la que no podemos acceder visualmente. Las células que se encuentran en el interior de un módulo tienen características muy similares para poder optimizar la producción de energía evitando así las pérdidas que ocasionan la dispersión de características.

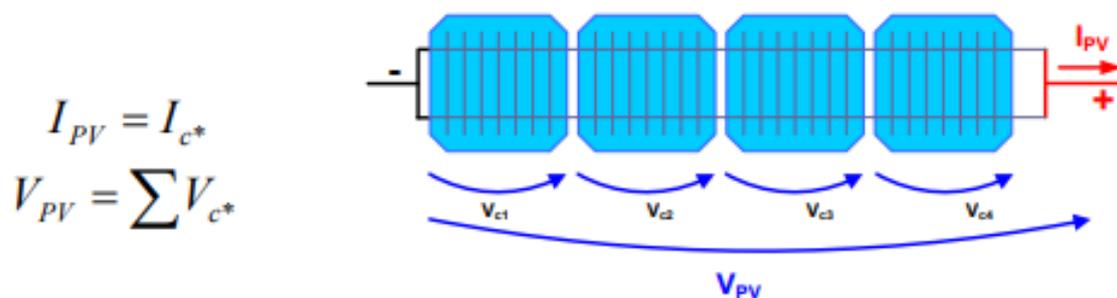


Ilustración 12. Conexión en serie de módulos

[2] MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València

En la ilustración 12 podemos observar la conexión en serie que acabamos de explicar.

La conexión en paralelo de las células fotovoltaicas que se encuentran en el interior de un módulo hace que aumente la corriente de salida del panel, mientras que la de la asociación es de un valor muy bajo en comparación con la conexión en serie, por lo que no permite que el inversor pueda realizar el correcto seguimiento del punto de máxima potencia, y en consecuencia es un tipo de conexión poco habitual en los paneles fotovoltaicos.

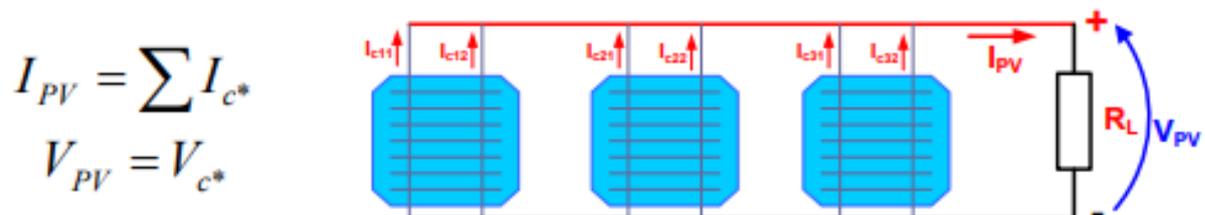


Ilustración 13. Conexión en paralelo de módulos

[2] MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València

En la ilustración 13 podemos observar la conexión en paralelo que acabamos de explicar.

3.3. Inversores

Como hemos explicado anteriormente, la instalación fotovoltaica se forman mediante la agrupación de módulos fotovoltaicos, cuyas características están definidas por las células fotovoltaicas, por lo tanto, las características eléctricas de una instalación solar fotovoltaica deben ajustarse a las características eléctricas de la entrada de corriente continua del convertidor electrónico que controla el punto de trabajo de dicho instalación, el ejemplo más habitual es el convertidor electrónico denominado inversor que se utiliza para conectar una instalación fotovoltaica a la red ya que convierte la corriente continua en corriente alterna para que esta pueda ser inyectada a la red .

La señal de salida del inversor debe ser senoidal, además debe de cumplir una normativa vigente para este tipo de instalaciones, en la cual se verifica la calidad de la señal, la cual se mide a través del factor de distorsión armónica, es decir, el THD.

Debemos de poder diferenciar entre un inversor monofásico y un inversor trifásico, ya que el inversor monofásico se utiliza para potencias nominales con un límite de 5 kW, mientras que el inversor trifásico se utiliza para aquellas que son superiores a 5kW.

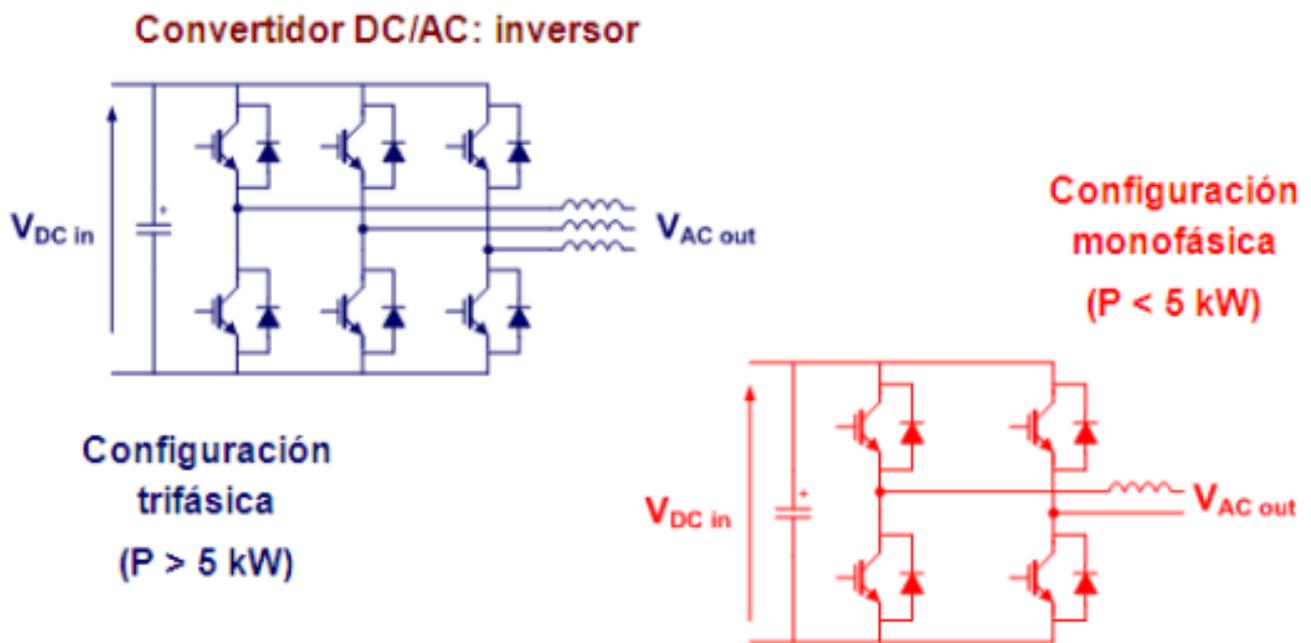


Ilustración 14. Inversor monofásico/trifásico

[2] MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València

En la ilustración anterior podemos ver la diferencia entre una configuración trifásica y una monofásica, faltando por especificar que el control de un inversor monofásico conectado a red es la modulación de ancho de pulso senoidal, más conocido como control SPWM, que es muy similar al control PWM con la diferencia de que la señal de referencia es la señal senoidal que necesitamos obtener a la salida de nuestro inversor.

SPWM unipolar en un convertidor DC/AC

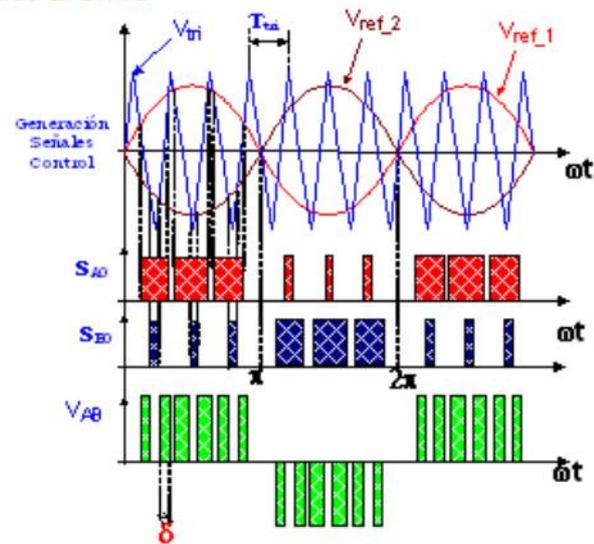
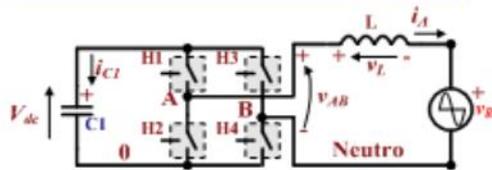
Salida unipolar:

$$v_{A0} = \begin{cases} V_{DC} & v_{ref} > v_{tri} \\ 0 & v_{ref} < v_{tri} \end{cases}$$

$$v_{B0} = \begin{cases} V_{DC} & -v_{ref} > v_{tri} \\ 0 & -v_{ref} < v_{tri} \end{cases}$$

Tensión de salida:

$$v_{out} = v_{AB} = v_{A0} - v_{B0}$$



[2] MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València

En la ilustración 15 se muestra la señal de control SPWM de salida unipolar utilizada en un inversor, y aparece en comparativa con una señal triangular, además de la señal de disparo de los transistores y la señal de salida, la cual está formada por pulsos de alta frecuencia que conforman una señal cuadrada, y cuyo valor varía entre $-V_{dc}$ y 0 , y 0 y V_{dc} .

Por otra parte, nos podemos encontrar una señal SVPWM trifásica o de control vectorial, que es la señal de control utilizada en los inversores trifásicos que hemos mostrado anteriormente.

Control vectorial en un convertidor DC/AC trifásico.

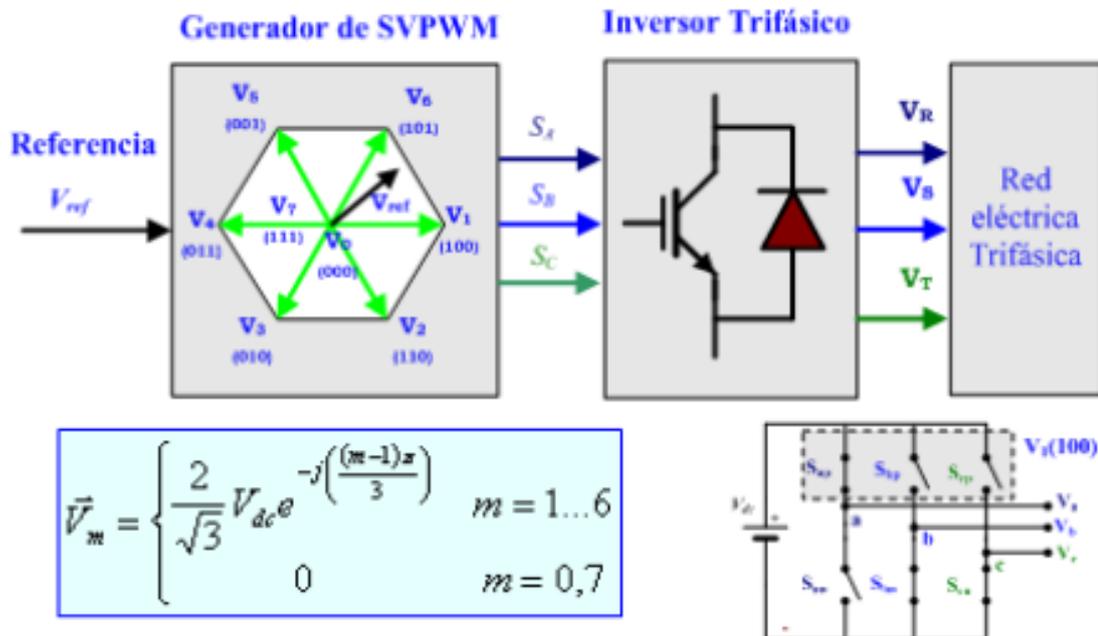


Ilustración 16. Señal SVPWM

[2] MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València

En esta ilustración, podemos ver la técnica de control mediante generador SVPWM, como podemos ver en esta técnica se aplican distintos vectores directores durante un tiempo los cuales dependen del vector de referencia que representa el sistema trifásico que se desea obtener a la salida, obteniendo así una señal de salida con un factor de THD reducido. Si se viese la situación con un incremento de estados intermedios, cuya cantidad de está determinada por la frecuencia de conmutación que hemos determinado previamente en los semiconductores, se incrementarían las pérdidas de conmutación y en consecuencia se sufriría un aumento de la carga de conmutación, para evitar este fenómeno se utilizan transistores IGBT, cuyas frecuencias de conmutación a veces superan 20KHz.

El último punto por explicar en este apartado sería el funcionamiento del inversor conectado a red, ya que a través de las señales de control que hemos explicado anteriormente se intenta controlar tanto el desfase entre la red eléctrica como la corriente a la salida de inversor como la amplitud de la corriente senoidal de salida. El control del desfase entre la tensión senoidal a la salida del inversor y la tensión de la red de suministros nos permite poder realizar un control sobre los valores de corriente activa y

reactiva que se suministra en cada momento, esto se realiza mediante el control del ángulo de desfase de la siguiente manera:

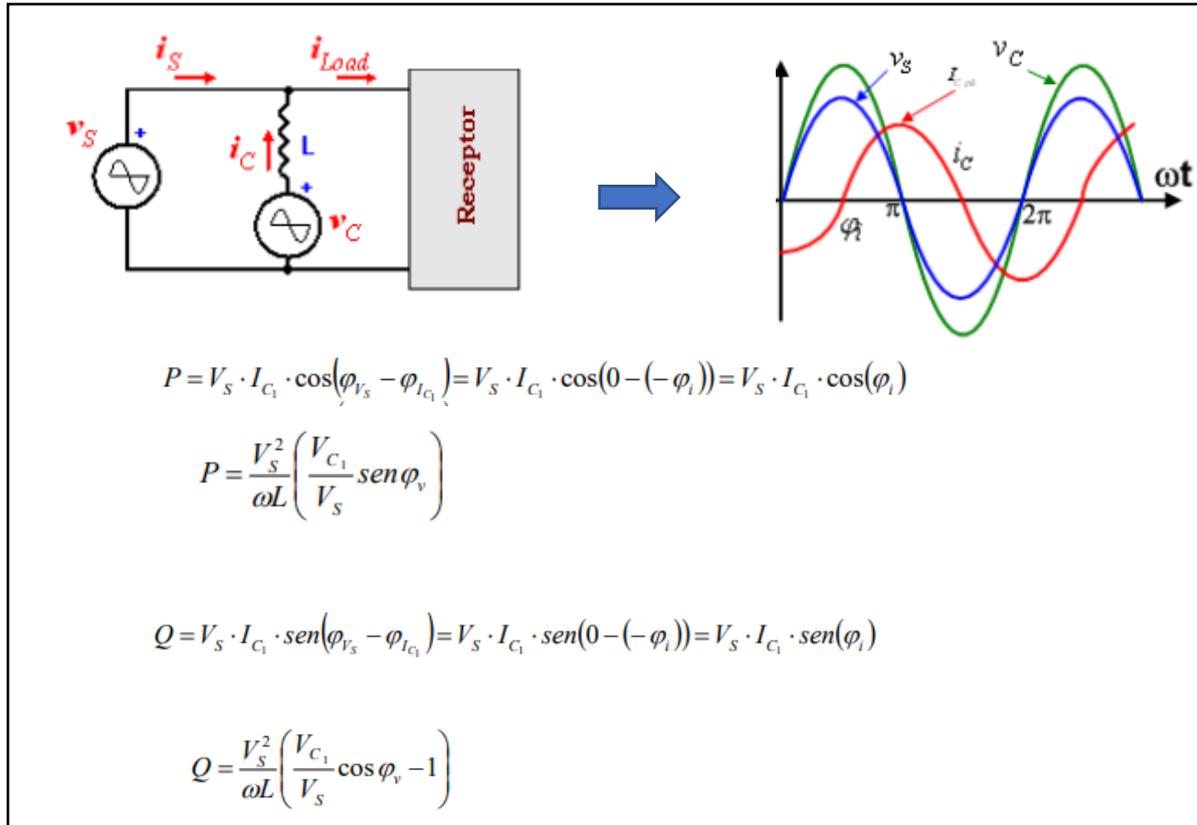


Ilustración 17. Control del ángulo de desfase

[2] MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València

La siguiente ilustración muestra cómo los inversores generan potencia activa normalmente a través de la corriente alterna generada en fase con la tensión de red, y cómo afectaría la variación del ángulo de desfase a esta potencia generada:

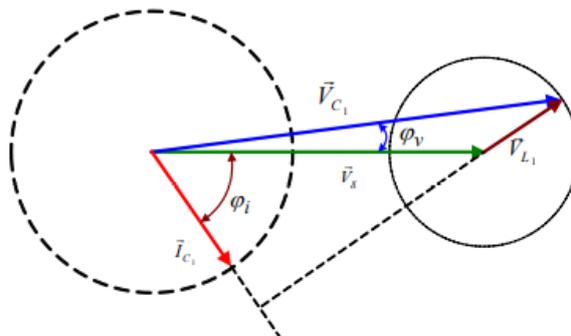


Ilustración 18. Afectación del desfase a la potencia

[2] MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – CURSO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - S. Seguí - F.J. Gimeno-S.Orts – Universitat Politècnica de València

Una vez hemos realizado esta introducción energía fotovoltaica y los elementos principales que utilizamos para su generación, podemos concluir con que se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante, es decir, es un tipo de energía que contribuye en gran medida a un desarrollo sostenible. Además, se trata de un tipo de sistema adecuado para zonas donde no hay facilidades para un sistema eléctrico en condiciones, como bien pueden ser zonas rurales o aisladas, o aquellas con condiciones meteorológicas adversas. Por último, una de sus características principales y que a la vez la hacen destacar respecto a otro tipo de generación eléctrica, es que son modulares, por lo que se pueden construir desde pequeñas instalaciones para autoconsumo hasta grandes plantas fotovoltaicas.

Capítulo 4. Diseño de la instalación

En este apartado, trataremos de mostrar el emplazamiento de nuestra instalación y realizar un breve estudio de las características de dicha localización. Además, se tratarán todos los puntos necesarios para el diseño de una instalación, desde la elección correcta de los módulos e inversores, hasta su correcta colocación en nuestra superficie, calculando inclinación, distancia entre paneles, etc.

4.1. Emplazamiento y características generales.

El emplazamiento de la instalación, como se ha comentado en apartados anteriores, la localización de la instalación es en el tejado del complejo polideportivo de Espartales en Alcalá de Henares, en la zona noreste de la comunidad de Madrid, cuyas coordenadas son:

- Latitud: 40.50721970932119
- Longitud: -3.357879756738286

En las siguientes ilustraciones, se muestra la ubicación de la instalación, tanto del propio polideportivo, como de la ubicación del polideportivo dentro de Alcalá de Henares.

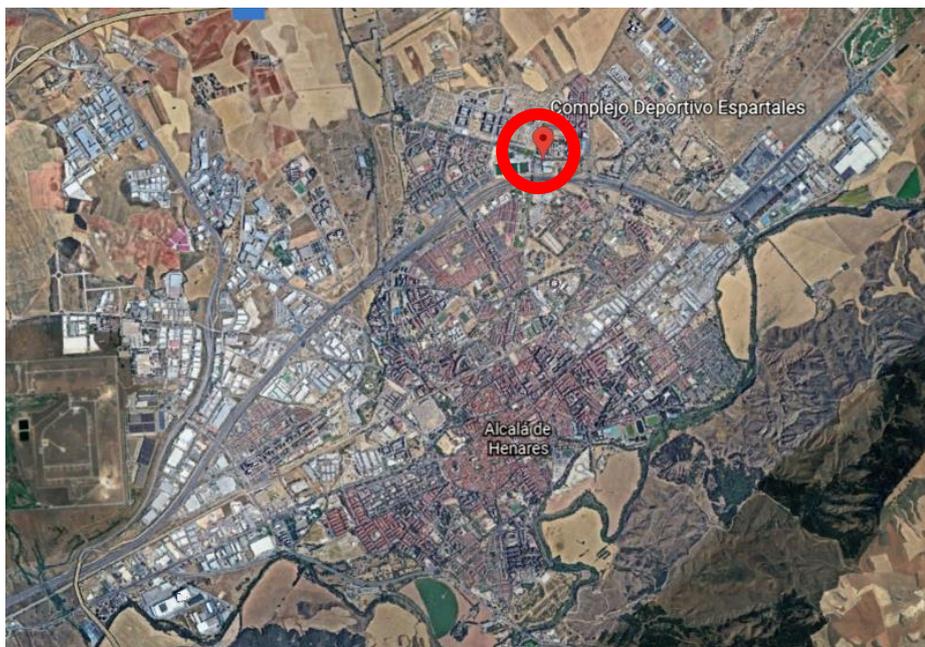


Ilustración 19. Localización en Alcalá de Henares (Fuente: <https://earth.google.com/web>)



Ilustración 20. Situación en el polideportivo (Fuente: <https://earth.google.com/web>)

Como podemos ver en la ilustración 20, solo será utilizada la cubierta principal de nuestro edificio, y aprovecharemos su disposición geográfica, ya que nos permite tener una orientación sur de los paneles, colocando estos a lo largo de cubierta aprovechando al máximo su extensión, lo cual explicaremos en el siguiente punto.

La ubicación de la instalación ya es conocida, por lo tanto, el siguiente paso será determinar la inclinación de los paneles, ya que en este caso tenemos la libertad de poder elegir la inclinación más óptima sin necesidad de tener en cuenta la inclinación inicial de la superficie. Para determinar esta inclinación utilizaremos la aplicación PVGIS que nos permitirá introducir las características de nuestra instalación, y determinar cuál es la inclinación óptima, y a partir de ese dato buscaremos las estructuras que más se adapten a nuestras necesidades.

En lo que incumbe a los paneles fotovoltaicos, estarán dispuestos de tal manera que no se produzcan sombra entre ellos, además de cumplir las especificaciones del inversor al que se conecten para que puedan hacer un correcto seguimiento del PMP.

Por último, se utilizarán una serie de equipos de protección para así garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad de la instalación.

4.2. Disposición de los paneles.

Para poder definir la orientación de nuestros paneles, lo primero a tener en cuenta es las características de nuestro emplazamiento, el cual al encontrarse en el hemisferio norte, deberá por lo tanto tener orientados los paneles hacia el sur, lo cual no nos supondrá ningún inconveniente ya que nuestro complejo polideportivo, como se puede apreciar en la ilustración 20, tiene forma de rectángulo, donde el lado más largo, sigue la disposición “norte-sur”, lo cual nos es muy favorable para la colocación de los paneles.

La inclinación la vamos a determinar a través de las distintas simulaciones del PVGIS, que es un software desarrollado por la comisión europea, el cual basa sus resultados en distintas bases de datos para proporcionarnos la inclinación y azimut optima.

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

Datos proporcionados:		Resultados de la simulación	
Latitud/Longitud:	40.507, -3.358	Ángulo de inclinación:	36 (opt) °
Horizonte:	Calculado	Ángulo de azimut:	-4 (opt) °
Base de datos:	PVGIS-SARAH	Producción anual FV:	1634.07 kWh
Tecnología FV:	Silicio cristalino	Irradiación anual:	2073.8 kWh/m ²
FV instalado:	1 kWp	Variación interanual:	51.48 kWh
Pérdidas sistema:	14 %	Cambios en la producción debido a:	
		Ángulo de incidencia:	-2.59 %
		Efectos espectrales:	0.52 %
		Temperatura y baja irradiancia:	-6.43 %
		Pérdidas totales:	-21.2 %

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

Datos proporcionados:		Resultados de la simulación	
Latitud/Longitud:	40.507, -3.358	Ángulo de inclinación:	36 (opt) °
Horizonte:	Calculado	Ángulo de azimut:	-5 (opt) °
Base de datos:	PVGIS-ERA5	Producción anual FV:	1610.13 kWh
Tecnología FV:	Silicio cristalino	Irradiación anual:	2035.67 kWh/m ²
FV instalado:	1 kWp	Variación interanual:	48.44 kWh
Pérdidas sistema:	14 %	Cambios en la producción debido a:	
		Ángulo de incidencia:	-2.62 %
		Efectos espectrales:	0.51 %
		Temperatura y baja irradiancia:	-6.03 %
		Pérdidas totales:	-20.9 %

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

Datos proporcionados:		Resultados de la simulación	
Latitud/Longitud:	40.507, -3.358	Ángulo de inclinación:	36 (opt) °
Horizonte:	Calculado	Ángulo de azimut:	-5 (opt) °
Base de datos:	PVGIS-ERA5	Producción anual FV:	1610.13 kWh
Tecnología FV:	Silicio cristalino	Irradiación anual:	2035.67 kWh/m ²
FV instalado:	1 kWp	Variación interanual:	48.44 kWh
Pérdidas sistema:	14 %	Cambios en la producción debido a:	
		Ángulo de incidencia:	-2.62 %
		Efectos espectrales:	0.51 %
		Temperatura y baja irradiancia:	-6.03 %
		Pérdidas totales:	-20.9 %

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

Datos proporcionados:		Resultados de la simulación	
Latitud/Longitud:	40.507, -3.358	Ángulo de inclinación:	35 (opt) °
Horizonte:	Calculado	Ángulo de azimut:	-9 (opt) °
Base de datos:	PVGIS-CMSAF	Producción anual FV:	1570.64 kWh
Tecnología FV:	Silicio cristalino	Irradiación anual:	1989.89 kWh/m ²
FV instalado:	1 kWp	Variación interanual:	31.27 kWh
Pérdidas sistema:	14 %	Cambios en la producción debido a:	
		Ángulo de incidencia:	-2.6 %
		Efectos espectrales:	0.49 %
		Temperatura y baja irradiancia:	-6.23 %
		Pérdidas totales:	-21.07 %

Ilustración 21. Inclinación y azimut (Fuente: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#PVP)

En la ilustración 21, podemos apreciar que, gracias a los distintos resultados aportados por el PVGIS, la inclinación óptima a seguir, sería de 36°, por lo debemos diseñar la instalación con una estructura que cumpla dicho requisito, lo cual nos lleva a buscar una estructura de inclinación 35° que supone una aproximación muy exacta de la colocación ideal. En lo que se refiere al azimut, vemos que tenemos valores negativos pero bastante pequeños, por lo que de cara a una reducción significativa del precio de la instalación, lo

aproximaremos a 0°, ya que de esta manera la generación será prácticamente la misma, y nos facilitará mucha la elección de la estructura.

Una vez está definida la inclinación de los paneles, pasaremos a calcular la distancia entre las filas de paneles, ya que, si las colocamos a una distancia inferior a la que, calculada en este punto, se producirán sombras entre ellos. Para este cálculo utilizaremos la siguiente fórmula:

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

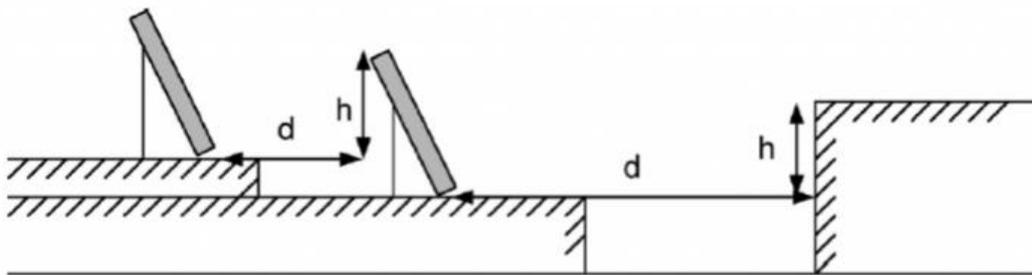


Ilustración 22. Cálculo de distancia entre módulos

(Fuente: <https://tecnosolab.com/noticias/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/>)

En la ilustración 22, podemos ver que la distancia entre los paneles se calcula en función de la altura y la latitud, por lo tanto, nuestra distancia será de 3,21m obtenidos de la siguiente manera:

$$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})} = \frac{1.2}{\tan(61 - 40.5)} = 3,21m$$

Ecuación 2. Distancia entre paneles

Donde la altura “h” ha sido calculada a partir de los datos de inclinación obtenidos con la aplicación PVGIS (35°) y de la hoja de características de nuestros paneles, donde hemos

podido ver que tienen (debido a que van a ser colocados en vertical) una altura de 2094 mm.

Por lo tanto:

$$\text{sen}35^\circ = \frac{h}{2,094} \rightarrow h = \text{sen}35^\circ \times 2,094 = 1,2\text{m}$$

Ecuación 3. Altura de un panel fotovoltaico

4.3. Paneles fotovoltaicos:

Para verificar la correcta elección de los paneles seleccionados para nuestra instalación, que son el modelo A-445M GS₁₄₄ de Atersa, debemos de tener en cuenta una serie de parámetros, los cuales iremos nombrando y explicando a:

- **Potencia del panel:** hace referencia a la cantidad de watios que es capaz de generar el panel en condiciones estándar, cuando se dan la máxima tensión y corriente, y en nuestro caso se trata de 450W.
- **Intensidad de cortocircuito:** es aquella que se produce a tensión 0 voltios, por lo que puede ser medida directamente en bornes mediante un amperímetro, y en nuestro caso es 11.6A.
- **Tensión de circuito abierto:** es la tensión máxima del panel, se puede medir al no tener ninguna carga conectada, directamente con un voltímetro, y en nuestro es 49.3V.
- **Corriente en el punto de máxima potencia:** es la corriente producida cuando la potencia es máxima, siendo nuestro valor 10.85A.
- **Voltaje en el punto de máxima potencia:** es la tensión producida cuando la potencia es máxima, correspondiéndonos un valor de 41.5V.
- **Eficiencia:** es el parámetro que relaciona la cantidad de potencia radiación incidente sobre el panel que es capaz de convertirse en potencia eléctrica, siendo del 20.7% en nuestro caso.
- **Tolerancia:** es la dispersión que presentan los paneles a la hora de su fabricación en cuanto a su potencia máxima, siendo en el caso de nuestro panel de 0+5%.

A continuación, mostraré la hoja de características en la cual aparecen todos estos parámetros, a tener en cuenta que nuestro panel es el A-450 GS 144 .

A-xxxM GS 144 HM6 9BB (ES) (xxx = potencia nominal)

Características eléctricas	A-430M GS 144	A-435M GS 144	A-440M GS 144	A-445M GS 144	A-450M GS 144
Potencia Máxima (Pmax)	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	40.70 V	40.90 V	41.10 V	41.30 V	41.50 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	10.57 A	10.64 A	10.71 A	10.78 A	10.85 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	48.50 V	48.70 V	48.90 V	49.10 V	49.30 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	11.31 A	11.39 A	11.46 A	11.53 A	11.60 A
Eficiencia del Módulo (%)	19.78	20.01	20.24	20.47	20.70
Tolerancia de Potencia (W)				0/+5	
Máxima Serie de Fusibles (A)				20	
Máxima Tensión del Sistema (IEC)	DC 1.000 V / DC 1.500V (**)				
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	45±2				

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 w/m², espectro AM 1.5 y temperatura de 25 °C.
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±2% (Voc, Vmp); ±4% (Isc, Imp).
Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%
(**) Máxima tensión del sistema de 1.500 V se fabrica bajo pedido.

Ilustración 23. Características del módulo fotovoltaico (Fuente: <https://atersa.shop/>)

En lo que respecta a la dimensión de los paneles, es de 2094x1038x40 mm, lo cual entra dentro de las medidas normalizadas de estos elementos, con un peso de 24kg, el cual entra dentro del diseño de prácticamente todas las estructuras.

Un dato relevante de nuestros paneles es que están formados por 144 células monocristalinas, lo cual, como hemos podido observar anteriormente, nos permite tener un panel con una eficiencia alta, y, en consecuencia, una generación elevada dada sus dimensiones. Adjuntamos una foto del panel donde se puede apreciar esta última característica:

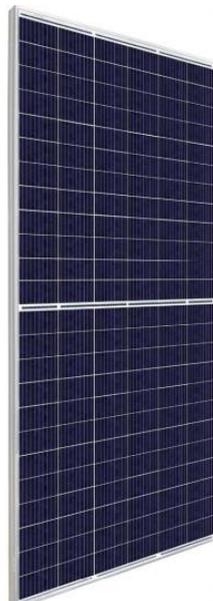


Ilustración 24. Módulo fotovoltaico
(Fuente: <https://atersa.shop/>)

4.4. Estructuras de los paneles.

El primer objetivo de cara a la elección de la estructura es que pueda aportarnos una inclinación de 35°, lo cual cumple con nuestras necesidades de diseño. Además, soporta racha de hasta 150km/h, lo cual es suficiente para su localización, ya que en Alcalá de Henares el máximo de los últimos años es de 77km/h, por lo que cumple este requisito perfectamente.

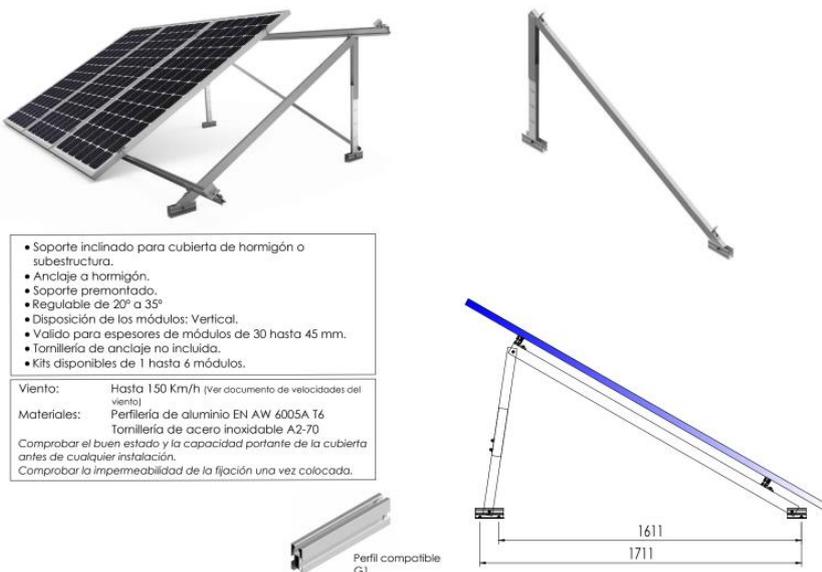
Las estructuras que nos proporcionará SUNFER, podrían soportar paneles de hasta 2400x1350mm, por lo que cumple también los requisitos técnicos de las dimensiones.

Además, viene con un KIT de anclaje que nos permitirá asegurar un buen fijamiento de los paneles a la estructura, y de esta a la azotea, ya que es una estructura específica para cubierta/hormigón.

A continuación, mostraremos ciertos aspectos que hemos comentado:

Ficha técnica
Soporte inclinado abierto regulable para cubierta plana

12V



- Soporte inclinado para cubierta de hormigón o subestructura.
- Anclaje a hormigón.
- Soporte premontado.
- Regulable de 20° a 35°
- Disposición de los módulos: Vertical.
- Válido para espesores de módulos de 30 hasta 45 mm.
- Tomillería de anclaje no incluida.
- Kits disponibles de 1 hasta 6 módulos.

Viento: Hasta 150 Km/h (Ver documento de velocidades del viento)

Materiales: Perfilera de aluminio EN AW 6005A T6
Tomillería de acero inoxidable A2-70

Comprobar el buen estado y la capacidad portante de la cubierta antes de cualquier instalación.
Comprobar la impermeabilidad de la fijación una vez colocada.

Perfil compatible G1

1611
1711

12V Soporte inclinado abierto regulable para cubierta plana, vertical

Sistema Kit

Componentes del Kit



Tamaño máx. módulo	Ref.	N.º de módulos	PVP	Volumen caja	Peso Caja
2279x1150	12V1	1	90,00 €	1950x200x80	9,40 kg
	12V2	2	114,00 €	1950x200x120	12,00 kg
	12V3	3	169,00 €	1950x200x220	16,60 kg
	12V4	4	194,00 €	1950x200x220	19,00 kg
	12V5	5	259,00 €	1950x200x220	24,40 kg
	12V6	6	287,00 €	1950x200x220	28,50 kg

Módulo ancho máximo: 1150 mm

12V5 - Válido para 5 módulos de hasta 1000 mm de ancho (El kit incluye presores para el montaje de 6 módulos)

12V6 - Válido para 7 módulos de hasta 1000 mm de ancho (El kit incluye presores para el montaje de 7 módulos)

Cubierta plana

Anclaje a hormigón

Regulable de 20° a 35°

Ficha técnica del producto



Ilustración 25. Ficha técnica de las estructuras (Fuente: <https://sunfer-energy.com/>)

En la ilustración 25, se puede observar todas las características que hemos mencionado anteriormente (inclinación, medidas, viento, etc), por lo que podríamos decir que esta estructura es ideal para nuestra instalación.

4.5. Distribución de los paneles.

Teniendo en cuenta, tanto la superficie de la azotea, como los paneles junto con sus distancias, vamos a poder instalar 17 columnas de paneles, y 27 filas, teniendo que salvar la entrada de la azotea, por lo que en total tendremos 432 paneles de 450W, lo que nos da lugar a una instalación de 194,4 kW. En las siguientes ilustraciones mostraremos la superficie, con sus respectivas medidas, las cuales hemos obtenido a partir del software “Google Earth”.



Ilustración 26. Medidas azotea a lo largo (Fuente: <https://earth.google.com/web>)



Ilustración 27. Medidas azotea a lo ancho (Fuente: <https://earth.google.com/web>)

Una vez hemos realizado las medidas, vamos a dividir la azotea en tres zonas para poder llevar a cabo una mejor explicación de cómo va a ser la distribución de la instalación, lo cual podemos observar en la siguiente ilustración.



Ilustración 28. Azotea por zonas (Fuente: <https://earth.google.com/web>)

En la zona 1, al tener una superficie de 21x22 m, vamos a poder colocar 68 paneles, distribuidos en 17 columnas y 3 filas. En la zona 2, al solo tener una superficie de 5x12 m, vamos a poder ubicar una fila de 7 paneles únicamente. Por último, en la zona 3, que es la más grande con diferencia, con una superficie de 112x22 m, podremos ubicar 17 columnas y 22 filas de paneles, los que nos proporciona un total de 374 paneles. Por lo tanto, entre las tres zonas suman los 432 paneles totales de la instalación.

5.6. Inversor.

Uno de los puntos más críticos del diseño de una instalación fotovoltaica, es la elección del inversor, en nuestro caso el Solis-50K de Solis, ya que para seleccionar el modelo de este debemos de tener en cuenta varios factores, y se deben de cumplir las características que impone cada uno de ellos.

Di el fabricante y el modelo Para explicar las características de nuestro inversor, iremos explicando uno a uno los parámetros de su hoja de características:

- **Potencia de entrada máxima recomendada:** potencia que se recomienda a la entrada del inversor, teniendo en cuenta el sobredimensionamiento.

- **Voltaje máximo de entrada:** voltaje máximo a la entrada cuando se dan las condiciones de circuito abierto.
- **Rango de voltaje MPPT:** rango de tensiones entre los que el inversor hace correctamente el seguimiento del punto de máxima potencia.
- **Corriente máxima de entrada:** corriente máxima que se da a la entrada durante el funcionamiento.
- **Corriente máxima de cortocircuito:** corriente máxima que se da en las condiciones de cortocircuito.
- **Número de MPPT/Número máximo de cadenas de entrada:** número máximo de seguidores del punto de máxima potencia y número máximo de string que se le pueden conectar a cada seguidor.

Tabla de datos

Modelo	Solis-40K	Solis-50K	Solis-50K-HV	Solis-60K-HV	Solis-60K-4G	Solis-70K-HV-4G
Entrada (CC)						
Potencia de entrada máxima recomendada	48 kW	60 kW	60 kW	72 kW	72 kW	84 kW
Voltaje máxima de entrada	1100 V					
Voltaje de nominal	600 V	600 V	720 V	720 V	600 V	720 V
Voltaje de arranque	200 V					
Rango de voltaje MPPT	200-1000 V					
Corriente máxima de entrada	4*22 A	4*28.5 A	4*22 A		4*28.5 A	
Corriente máxima de cortocircuito	4*34.3 A	4*44.5 A	4*34.3 A		4*44.5 A	
Número de MPPT/Número máxima de cadenas de entrada	4/8	4/12	4/8		4/12	
Salida (CA)						
Potencia nominal de salida	40 kW	50 kW	50 kW	60 kW	60 kW	70 kW
Potencia máxima de salida aparente	44 kVA	55 kVA	55 kVA	66 kVA	66 kVA	77 kVA
Potencia máxima de salida	44 kW	55 kW	55 kW	66 kW	66 kW	77 kW
Voltaje nominal de la red	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230 V / 400 V		3/PE, 480 V		3/N/PE, 220 V / 380 V, 230 V / 400 V	3/PE, 480 V
Frecuencia nominal de la red	50 Hz / 60 Hz					
Corriente nominal de salida de red	58 A / 60.8 A	72.2 A / 76 A	60.2 A	72.2 A	86.6 A / 91.2 A	84.2 A
Corriente máxima de salida	66.9 A	83.3 A	66.2 A	80 A	100 A	92.6 A
Factor de potencia	>0.99 (0.8 que lleva a 0.8 de retraso)					
THDI	<3%					
Eficiencia						
Eficiencia máxima	98.8%		99.0%			
Eficiencia EU	98.4%		98.5%			
Protección						
Protección contra polaridad inversa DC	Sí					
Protección contra cortocircuito	Sí					
Protección de sobrecorriente de salida	Sí					
Protección contra sobretensiones	Sí					
Monitoreo de red	Sí					
Detección Anti-Isla	Sí					
Protección de temperatura	Sí					
Monitoreo de cadenas	Sí					
Función anti-PID	Opcional					
AFCI integrado (Protección de circuito de falla de arco CC)	Opcional					
Interruptor de CC integrado	Opcional					

Ilustración 29. Características del inversor (Fuente: <https://atersa.shop/>)

En la ilustración 29, hemos visto los parámetros del inversor, pero debemos conocer cómo se calculan estos parámetros de nuestra instalación para poder saber si nuestros inversores son compatibles con nuestros inversores.

- Potencia de entrada máxima recomendada:

$$P_{total} = n^{\circ} \text{total de paneles} \times \text{potencia individual por panel}$$

- Voltaje máximo de entrada:

$$V_{max} = n^{\circ} \text{ de paneles en serie por string} \times V_{oc}$$

- Rango de voltaje MPPT:

$$Rango_{MPPT} = n^{\circ} \text{ de paneles en serie por string} \times V_{mp}$$

- Corriente máxima de cortocircuito:

$$I_{cc} = n^{\circ} \text{ de string} \times I_{cc}$$

Tras conocer cómo se calculan los distintos parámetros del inversor, vamos a definir las interconexiones de nuestra instalación, para lo cual, debemos combinar los datos de la hoja de características tanto del inversor como las de los paneles.

La cantidad de inversores a utilizar en la instalación es de 3, y serán el modelo Solis-50K, en el cual vamos a aprovechar los 4 seguidores del PMP, y en cada uno de los seguidores utilizaremos 2 de las 3 cadenas de entrada disponibles, y dentro de cada cadena, dispondremos de 18 paneles en serie, por lo que los datos de esta configuración serán:

- Potencia de entrada máxima: 64.800kW
- Voltaje máximo de entrada: 887,4V
- Corriente máxima de entrada: 21,7A

- Corriente máxima de cortocircuito: 23,2A
- Número de MPPT/Número máximo de cadenas de entrada: 4/12

Parámetro	Módulos	Inversor
Potencia de entrada máxima	64,8 kW	60kW
Voltaje máximo de entrada	887,4V	1100V
Tensión de máxima potencia	747V	200-1000V
Corriente máxima de entrada	21,7A	28,5A
Corriente máxima de cortocircuito	23,2A	44,5A
Número de MPPT/Número máximo de cadenas de entrada	4/8	4/12

Tabla 1. Valores a los que se somete cada inversor

Como se puede observar en los valores que se le van a atribuir a cada inversor, son valores que están perfectamente dentro de los rangos que nos marca el fabricante, incluso respetando ese sobredimensionamiento que recomienda el fabricante, el cual hemos cumplido perfectamente.

El sobredimensionamiento que recomienda el fabricante consiste simplemente en que la potencia de los módulos fotovoltaicos instalados sea mayor que la potencia nominal del inversor al cual han sido conectados. Para poder explicar mejor el porqué de este sobredimensionamiento lo vamos a hacer a través de una gráfica que mostramos a continuación:

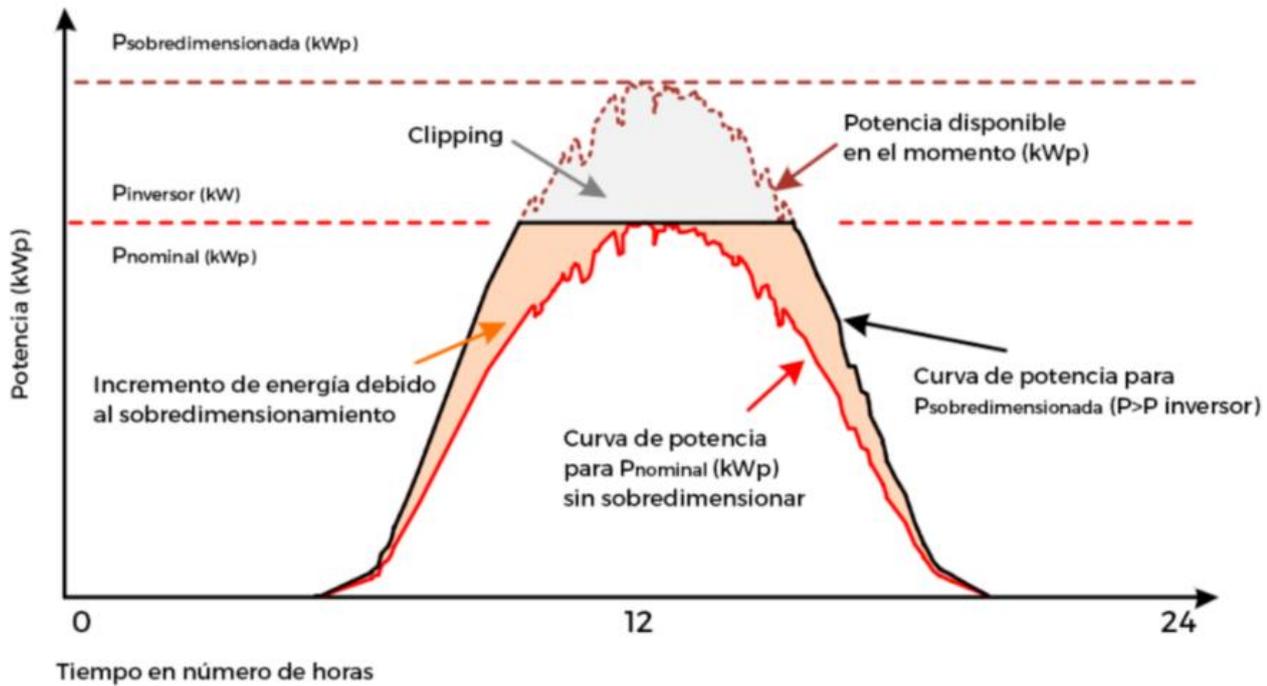


Ilustración 30. Gráfica del sobredimensionamiento (Fuente: <https://www.amara-e.com/sobredimensionar/>)

A lo largo de la ilustración 30, podemos ver varias curvas a las cuales puede ser sometido el inversor. El eje “X” representa las horas del día, mientras que el eje “Y” representa la potencia del sistema en cada momento del día. La curva roja es la que representa cómo se comporta la potencia en el caso que no tiene sobredimensionamiento, es decir, el diseño del inversor se realiza intentando copiar el valor de potencia de pico de los módulos fotovoltaicos, lo que se traduce en una baja potencia en las horas de menor irradiación, debido a que esta potencia es directamente proporcional a la irradiación en cada momento. Ahora vamos a analizar la curva negra que es la que se corresponde con una instalación con sobredimensionamiento, donde vemos que la potencia que proporcionan los módulos es la misma, sin embargo, al tiene más potencia instalada por tener más módulos, la potencia que se entrega en las horas del día con menor luz es mayor que en el caso anterior, lo cual es lógico al tener más módulos, lo siguiente a analizar es la línea recta que se da cuando se alcanza la potencia del inversor, ya que por normativa y protección no se inyecta más potencia, y es cuando se da el efecto “clipping”, donde el inversor varía su valor para que coincida con el valor de tensión y la potencia entregada este limitada a la nominal del equipo.

5.7. Variaciones de temperatura

Para comprobar que el diseño es aceptable en las distintas condiciones de temperatura, vamos a llevar a cabo un análisis de los distintos valores que presentan nuestros paneles en función de las distintas temperaturas a las que está expuesto.

Las temperaturas sobre las que trabajaremos son las temperaturas más extremas a las que estarán sometidos los paneles fotovoltaicos, que serán de -10 grados y 70 grados, las cuales hemos obtenido de la siguiente manera:

$$T_{cell} = T_{amb} + \frac{(T_{onc} - 20) * E}{800}$$

Ecuación 4. Temperatura de una célula fotovoltaica

La fórmula utilizada anteriormente para calcular la temperatura de la célula fotovoltaica utiliza la referencia de la temperatura ambiente, a la cual se le suma la diferencia entre la temperatura de operación de la célula (T_{onc}) y la temperatura de 20 °C, valores que se multiplican por la parte proporcional a la irradiancia que hay en ese momento, ya que la irradiancia en condiciones estándar es de 800 W/m².

Una vez hemos calculado las dos temperaturas más distantes, el siguiente paso será calcular las modificaciones que son debidas a los efectos de estas temperaturas:

$$V_{oc} = V_{oc \text{ nominal}} + (\text{Coef. temp. de } V_{oc} * (T_{cell}' - 25))$$

$$I_{sc} = I_{sc \text{ nominal}} + (\text{Coef. temp. de } I_{sc} * (T_{cell}' - 25))$$

$$P_{max} = P_{max \text{ nominal}} + (\text{Coef. temp. de } P_{max} * (T_{cell}' - 25))$$

Ecuación 5. Incidencia de la temperatura en los distintos parámetros

El valor de los coeficientes de temperatura lo encontramos en la hoja de características de los módulos seleccionados.

Parámetro	Valor nominal	T ^a de -10 grados	T ^a de 70 grados
Voc	49,3V	58,785V	37,105V
Isc	11,6A	9,885A	13,805A
Pmax	450W	462,32W	434,16W

Tabla 2. Resumen de la variación de los valores en función de la temperatura

Tras el cálculo de los valores que podemos ver en la tabla, el siguiente paso será comprobar que el inversor soporta la configuración explicada anteriormente con los valores calculados que afectan de mayor modo al diseño del inversor.

Valor	Valor modificado del panel	Valor de 144 paneles	Valor inversor	¿Cumple? Si/No
Voc	58,785V	1058,13V	1100V	Si
Isc	13,805A	27,61A	28,5A	Si
Pmax	462,32W	66,574kW	60kW	Si

Tabla 3. Resumen de la aceptación del inversor

Como podemos observar en la tabla 3, el valor de la tensión del circuito abierto es bastante próximo al que admite el inversor, sin embargo, al no ser el punto de trabajo de los paneles, y ser un valor inferior al máximo admitido, se acepta para nuestra instalación.

4.8. Protecciones

El siguiente punto a desarrollar de nuestra instalación, es el de las protecciones, el cual vamos a dividir en varios apartados.

4.8.1. Cuadros de nivel I

Son unos cuadros que se colocan de manera intermedia entre los módulos e inversores, para así poder ofrecer una mayor protección, además de permitirnos elegir la sección de cable de la manera más ajustada posible.

Las cajas que vamos a utilizar cuentan con hasta 12 entradas con sus bases portafusibles y fusibles para continua de 16A y 12 entradas. A la salida nos encontraríamos interruptores de hasta 1000Vdc y 160A, sin contacto auxiliar de estado. El armario es de poliéster con puerta opaca, con dimensiones 700x500x300mm y protección IP55. Además, cuenta con protector contra sobretensiones de continua clase 2 hasta 1000Vdc.

En el interior de los cuadros, se disponen una serie de fusibles, los cuales entran en funcionamiento en caso de darse un cortocircuito, pero como hemos podido ver en los puntos anteriores, la corriente de cortocircuito no varía demasiado de la corriente en el punto de máxima potencia, por lo que estos fusibles están pensados principalmente evitar las corrientes inversas, las cuales se pueden dar cuando falla uno de los paneles situado en cualquiera de las ramas que tenemos en paralelo entre sí, es decir, si en una de esas ramas se da una avería, para evitar que sufra una corriente inversa que estropee el resto de paneles, entran en funcionamiento estos fusibles.

Además de los fusibles, también podemos encontrar a la salida interruptores, cuya finalidad es actuar cuando se detecta una falla, es decir, de cortar la corriente eléctrica de la instalación y permitir su restablecimiento cuando se haya solucionado la anomalía.

Para el panel elegido en este proyecto, el valor máximo de corriente de los paneles es de 11.6A, por lo que la corriente a la que se produce la fusión del fusible es de 16A, y no limitará en ningún caso el correcto funcionamiento de los paneles, y por lo contrario sí que protegerá de corrientes inversas. Además, cuenta con la protección de sobretensiones para evitar efectos nefastos sobre los equipos.

Como podemos ver en la tabla 31, el cuadro soporta 160A, los cuales cumplen perfectamente con su finalidad, ya que la corriente nominal de un string es de 10.85A, y al soportar 12 strings, la corriente que soporta es de 130.2 A, lo cual no limita el funcionamiento, sin embargo, hay que comprobar que la corriente de es capaz de extinguirla, y que el cuadro está limitado a 160A, parámetro que no es ninguna limitación, ya que la corriente de cortocircuito que debe de poder extinguir es de 139.4A, que es el total de los 12 strings. Tras analizar el cuadro a utilizar, cabe destacar que como se van a emplear 3 cuadros en la instalación, uno por inversor, cada uno solo debe de albergar 8 strings, por lo que se encontrará aún con más motivo por debajo de los valores máximos que es capaz de extinguir, por lo que es adecuado con la distribución de paneles elegida para este proyecto.

CARACTERÍSTICAS GLOBALES DEL MONTAJE	
Tensión máxima de uso	1000Vdc
Corriente máxima de uso	160A
Tensión de aislamiento	1000Vdc
Capacidad de seccionamiento	Si, por interruptor de corte en carga
Protección por fusible	Si
Protección contra sobretensiones	Si
IP	55
Prensaestopas	Si
CARACTERÍSTICAS DEL INTERRUPTOR	
Marca	Telergon / Socomec
Tensión máxima de corte	1000Vdc
Corriente máxima de corte	160A
Tensión de aislamiento	1000Vdc
Accionamiento	Por mando directo
Categoría de empleo	DC21
Tipo de conexión	Disponible en pletina ó brida
CARACTERÍSTICAS DEL FUSIBLE	
Marca	DF
Tensión máxima de uso	900Vdc
Corriente de fusión de fusible	16A
Tensión de aislamiento (base)	1000Vdc
Corriente máxima de la base	32 A
Tipo de base	UTE
Calibre	10x38
Montaje	Carril
Conexión	Brida
CARACTERÍSTICAS DEL PROTECTOR	
Marca	Weidmüller
Tipo	Tipo II
Tensión de uso	1000Vdc
I de descarga	40kA
CARACTERÍSTICAS DE LA ENVOLVENTE	
Marca	Claved
Dimensiones máximas	700x500x300mm
IP	55
IK	10
Tapa	Transparente
Prensaestopas	Si (M16 y 20)
IP Prensas	66
Placa de montaje	Aislante

Ilustración 31. Características del cuadro de nivel I (Fuente: <https://www.ambgreenpower.com/>)

En la tabla anterior podemos ver todos los valores de los que hemos hablado anteriormente.

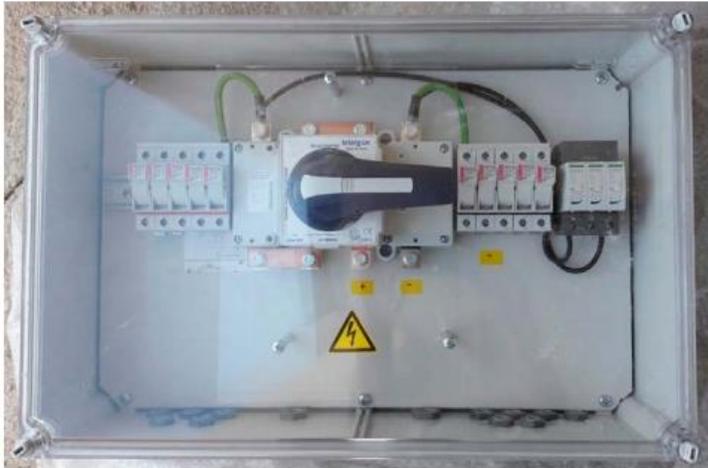


Ilustración 32. Ejemplo de cuadro de nivel I (Fuente: <https://www.ambgreenpower.com/>)

4.8.2. Cuadros de nivel II.

Estos cuadros se utilizan para que una vez se han creado varias líneas que distribuyen la energía generada en los paneles solares, se agrupen y podamos conseguir así una única línea de entrada al inversor. Se trata de un cuadro con fusibles de entrada en ambas polaridades, adecuados a las intensidades de los cables de entrada. De este cuadro salen los cables que se seguirán hacia los elementos de protección a la entrada del inversor. La siguiente ilustración muestra este segundo nivel de agrupamiento en la parte de continua.

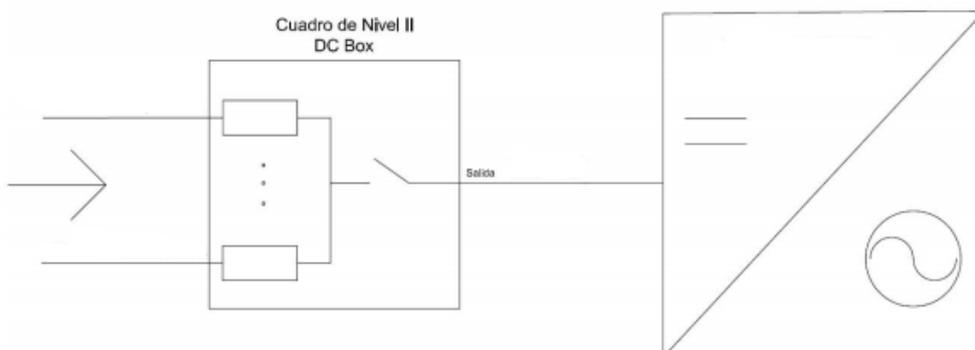


Ilustración 33. Esquema de cuadro de nivel II (Fuente: <http://hazcanaro.es/project/cuadros-de-nivel-2/>)



Ilustración 34. Ejemplo de cuadro de nivel II (Fuente: <http://hazcanaro.es/project/cuadros-de-nivel-2/>)

4.8.3 Protección de entrada al inversor

El inversor, para evitar averías y poder realizar el mantenimiento, con sus consecuentes maniobras de conexión y desconexión, debe de tener alguna protección a su entrada, y para ello, lo principal es saber que corriente hay en cada una de sus entradas, la cual en este caso es de 23.2A; el otro parámetro a tener en cuenta es la máxima tensión que puede llegar en este punto, que es de 887.4V. Una vez hemos visto estos valores, podemos observar que no existe peligro de sobreintensidades o cortocircuitos debido al previo dimensionamiento que hemos llevado a cabo del inversor, por lo tanto, en este punto, no hace falta meter ninguna protección adicional ya que ni en condiciones de funcionamiento de temperaturas extremas se llegaran a los valores extremos de funcionamiento del inversor, aunque de todas formas es recomendable que cuente con un interruptor a su entrada para poder eliminar el paso de corriente si fuese necesario que suele tenerlo integrado el propio equipo.

4.8.4. Protecciones de corriente alterna.

La parte de corriente alterna, irá desde la salida del inversor hasta la conexión a red, ya que nuestra instalación estará directamente conectada a red en baja tensión. En nuestro caso, el propio inversor contiene las protecciones necesarias que son:

- Protecciones contra polaridad inversa DC
- Protecciones contra cortocircuito
- Protecciones de sobrecorriente de salida
- Protecciones contra sobretensiones
- Protección de temperatura
- Protección de circuito de falla de arco CC
- Interruptor de CC

4.9. Cableado

A continuación, vamos a explicar cómo se lleva a cabo el dimensionamiento del cableado.

4.9.1. Tipo de cableado.

En la parte de corriente continua, podremos diferenciarlo en tres tipos:

- El cableado entre los propios paneles, los cuales llevaremos al cuadro de nivel 1 tras haberlos interconectado en serie y posteriormente en paralelo las distintas ramas. Las características de estos cables las calcularemos más adelante, pero debido a que la corriente que circula por cada una de las ramas es la misma que la que circula de manera individual por cada panel, podemos adelantar que la sección de los cables será pequeña.
- El cableado que va desde los cuadros de nivel 1 hasta los cuadros de nivel II será de una sección bastante mayor como la cual también será justificada más adelante.

- El cableado que va desde el cuadro de nivel II hasta el inversor será un cable que debe de soportar una tensión de 1000 V dc, cuya longitud será muy pequeña ya que este cuadro se dispone al lado del inversor para centralizar la entrada al inversor.

4.9.2. Cálculos de cableado.

Para poder llevar a cabo el cálculo de la sección de los cables a utilizar, se deben tener en cuenta varios parámetros como pueden ser la longitud, la intensidad y la caída de tensión entre los extremos del cable, sin olvidarnos de la conductividad del material con el que está fabricado el cable a utilizar, que en nuestro caso será cobre y su conductividad tendrá asociado un valor de $1/56 \text{ W mm}^2 \text{ m}^{-1}$, a una temperatura de 20°C , que es la aproximación que utilizaremos para nuestros cálculos:

Material	γ_{20}	γ_{70}	γ_{90}
Cobre	56	48	44
Aluminio	35	30	28
Temperatura	20°C	70°C	90°C

Ilustración 35. Conductividad cobre (Fuente: <https://www.sfe-solar.com/>)

En la ilustración 35 podemos observar el comportamiento del cobre y del aluminio a distintas temperaturas, fijándonos en la resistividad o resistencia específica que es la inversa de la conductividad.

Para poder realizar el cálculo de la sección, debemos de tener cuenta que las secciones se encuentran estandarizadas, y que la formula a utilizar es la siguiente:

$$S = 2 * L * I * \gamma / (V_A - V_B) = 2 * L * I / 56 * (V_A - V_B)$$

Ilustración 36. Fórmula de sección de cable

(Fuente: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/>)

En la fórmula de la ilustración 36 podemos identificar los parámetros de longitud, intensidad, resistividad y caída de tensión máxima admisible entre dos puntos, A y B.

La distancia a utilizar para las secciones de los cables que se encuentran entre los paneles es de 20 metros para los cuadros de nivel I, y de 130 m para los cuadros de nivel II.

$$S = \frac{2 \times 20 \text{ m} \times 10.85 \text{ A}}{56 \times \frac{887 \text{ V}}{100}} = 0.88 \text{ mm}^2 \quad S = \frac{2 \times 130 \text{ m} \times 10.85 \text{ A}}{56 \times \frac{887 \text{ V}}{100}} = 5.72 \text{ mm}^2$$

Ecuación 6. Cálculo de la sección de cables I

Como hemos podido calcular, las secciones no son demasiado grandes, y más aun teniendo en cuenta que hemos utilizado una caída de tensión del 1% de la tensión que generarían los 18 paneles en serie, por lo que, a partir de la siguiente ilustración, donde se mostrarán las secciones de los cables estandarizados según la IEC 60228, que la equivalente a la UNE-EN 60228 aplicada en España, elegiremos la sección de nuestros cables.

Norma internacional para secciones de cables eléctricos (IEC 60228)					
0.5 mm ²	0.75 mm ²	1 mm ²	1.5 mm ²	2.5 mm ²	4 mm ²
6 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	50 mm ²
70 mm ²	95 mm ²	120 mm ²	150 mm ²	185 mm ²	240 mm ²
300 mm ²	400 mm ²	500 mm ²	630 mm ²	800 mm ²	1000 mm ²

Ilustración 37. Sección estandarizada de cable (Fuente: <https://www.topcable.com/>)

La sección escogida para el cable del cuadro de nivel 1 cuya sección tiene que ser mayor que 0,87 mm², será de 1 mm²; mientras que la sección elegida para el cuadro de nivel dos será de 6 mm²; ya que es justo el siguiente valor que se encuentra por encima de los 5,72 mm² que hemos calculado anteriormente.

Los otros parámetros a tener en cuenta a la hora de elegir el cable es que se trate de cable unipolar, y en consecuencia 1 para el positivo y otro para el negativo. Es también muy

recomendable, ya que se tratan de instalaciones que pasan gran tiempo a la intemperie, que los cables seleccionados tengan un buen aislamiento, así como una gran resistencia, incluso anti roedores, por lo que una buena opción para este tipo de instalaciones serían los cables solares tipo PV ZZ-F de clase 5, pensado para instalaciones como la nuestra.

Para finalizar este apartado, debemos seleccionar las características del cable que conecta la corriente alterna que sale del inversor, con la red, para ello vamos a utilizar un cable tipo RZ1-K, cuyo aislamiento se compone de un encintado especial de mica sobre el conductor y de una capa de polietileno reticulado (XLPE) sobre la cinta de mica, por lo que aunque se queme el XLPE, la cinta de mica asume el comportamiento de capa aislante por su gran resistencia dieléctrica, además de su gran resistencia a las llamas, por encima de los 950 °C, por lo que nos proporcionará gran seguridad en caso de incendio.

Una vez disponemos de las características técnicas de este cable, nos falta calcular la sección mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\sqrt{3} \times \text{conductividad} \times L \times I}{\Delta V} = \frac{\sqrt{3} \times 0.018 \times 10 \times 76 \text{ A}}{400 \text{ V} \times 0.01} = 5.92 \text{ mm}^2$$

Ecuación 7. Cálculo de la sección de cables II

El valor de 0.018 Ω mm²/m, proviene de la tabla mostrada al principio de este punto, ya que es el equivalente a dividir 1 entre 56. Como la sección que hemos obtenido es de 5,92 mm², tendremos que utilizar la medida de la IEC de 6 mm² de sección.

4.10. Puesta a tierra.

En cualquier instalación que se lleva a cabo en los edificios, es necesario que exista una puesta a tierra para garantizar la seguridad, para que sea posible cumplir este requisito, todos los elementos a instalar deberán estar conectados a tierra de la manera que vamos a explicar a continuación.

Para poder llevar a cabo esta puesta a tierra debemos de tener en cuenta que todos los elementos en nuestra instalación deben estar incluidos en este conexionado, por lo que todos los paneles al tener alguna parte metálica, junto a su estructura, así como los cuadros de protección y el propio inversor tienen que tener un cable que esté conectado a la puesta

a tierra, la cual, al estar nuestra instalación situada sobre un edificio con su propia instalación eléctrica, utilizaremos su sistema de puesta a tierra, por lo que será suficiente con centralizar las salidas a tierra de nuestra instalación y conectar estas a la puesta a tierra del edificio.

Capítulo 5. Simulaciones con PVGIS

A lo largo de este capítulo, vamos a analizar la simulación llevada a cabo con el PVGIS explicando uno a uno los resultados obtenidos.

Lo primero para poder explicar los resultados obtenidos, será explicar los parámetros y términos que nos vamos a encontrar en los resultados de la simulación:

- **Latitud:** distancia angular que hay desde un punto de la superficie de la Tierra hasta el paralelo del ecuador; se mide en grados, minutos y segundos sobre los meridianos.
- **Longitud:** distancia angular entre el Meridiano de Greenwich (meridiano 0°) y el meridiano de un lugar, que no son más que círculos completos que van de polo a polo. Puede ser Este u Oeste, según esté hacia oriente o poniente del meridiano 0°.
- **FV instalado:** es la cantidad de energía que es capaz de generar nuestra instalación en función de su potencia.
- **Pérdidas sistema:** son las pérdidas que tiene nuestro sistema a la hora de generar, es decir, es la diferencia entre la generación real y la generación ideal.
- **Ángulo de inclinación:** es el ángulo que forma el panel respecto al suelo.
- **Ángulo de azimut:** es el ángulo que forma la perpendicular del panel respecto al suelo
- **Producción anual FV:** es la energía que produce nuestra instalación a lo largo de todo el año
- **Irradiación anual:** es la magnitud que mide la energía por unidad de área de radiación solar incidente en una determinada superficie. Esta cantidad de radiación solar que incide sobre una superficie se mide a lo largo del año.
- **Variación interanual:** Refleja la variación experimentada por el dato de una serie correspondiente a un año, en relación con el dato que presenta la serie en el año anterior.
- **Cambios en la producción debido a:**
 - **Ángulo de incidencia:** es el ángulo con el que llega la luz a nuestros paneles fotovoltaicos.
 - **Efectos espectrales:** variación en función de las ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica.

- Temperatura y baja irradiancia (o baja incidencia de la energía solar)

Una vez hemos realizado la definición de todos estos parámetros, vamos a pasar a mostrar la simulación de la instalación y los resultados obtenidos.

Rendimiento de un sistema FV conectado a red

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

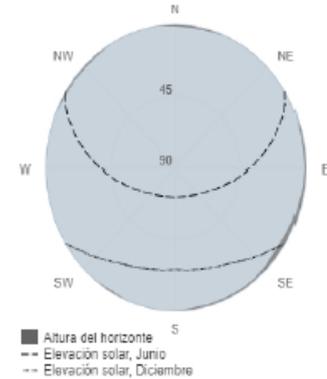
Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 40.507, -3.358
 Horizonte: Calculado
 Base de datos: PVGIS-SARAH
 Tecnología FV: Silicio cristalino
 FV instalado: 194.4 kWp
 Pérdidas sistema: 14 %

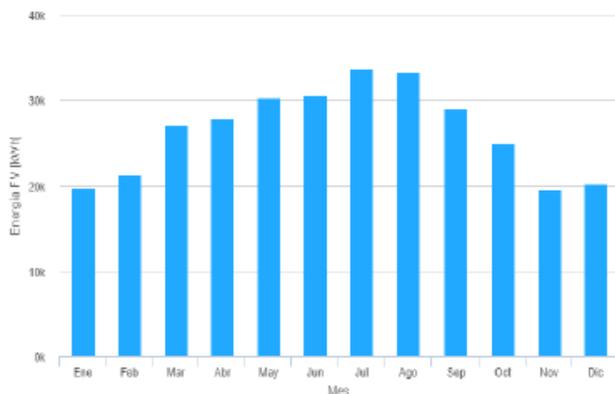
Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 35 °
 Ángulo de azimut: 0 °
 Producción anual FV: 317445.93 kWh
 Irradiación anual: 2073.85 kWh/m²
 Variación interanual: 10107.26 kWh
 Cambios en la producción debido a:
 Ángulo de incidencia: -2.61 %
 Efectos espectrales: 0.52 %
 Temperatura y baja irradiancia: -6.47 %
 Pérdidas totales: -21.26 %

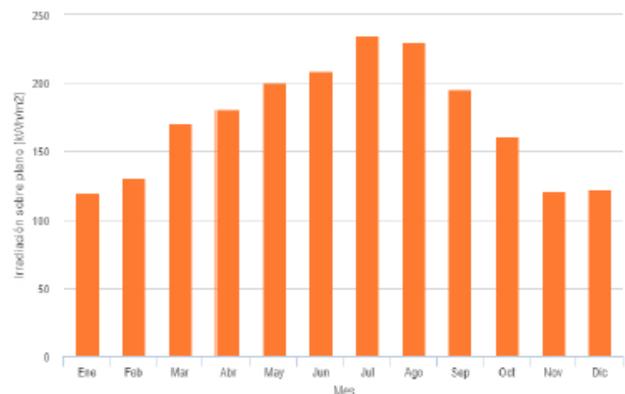
Perfil del horizonte:



Producción de energía mensual del sistema FV fijo:



Irradiación mensual sobre plano fijo:



Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	19748.7119.7	4506.2	
Febrero	21273.8130.5	3570.3	
Marzo	27095.0170.4	3347.9	
Abril	27904.8180.4	2049.8	
Mayo	30249.6200.3	2296.4	
Junio	30588.4209.1	958.7	
Julio	33685.0234.1	992.4	
Agosto	33237.4229.8	544.2	
Septiembre	29022.9195.5	1021.9	
Octubre	24933.8161.3	2630.6	
Noviembre	19523.3120.6	3135.5	
Diciembre	20183.3122.3	2782.3	

E_m: Producción eléctrica media mensual del sistema dado [kWh].

H(i)_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].

SD_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].

Ilustración 38. Simulaciones del PVGIS (Fuente: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#PVP)

En la ilustración 38, vemos la simulación llevada a cabo con la herramienta PVGIS, la cual es un software muy probado y utilizado por distintas entidades para simulaciones de una instalación fotovoltaica.

En la parte superior izquierda podemos encontrar los datos de la localización de nuestra instalación, los que podemos identificar con latitud y longitud, también podemos observar la tecnología fotovoltaica que se ha utilizado en la instalación, que se trata de silicio cristalino, así como la potencia de pico instalada, que es de 194.4kWp. en la siguiente columna encontramos la inclinación y el azimut que hemos utilizado para nuestra instalación, es decir, 35 y 0° respectivamente. en esta misma columna podemos encontrar la simulación de la producción anual de kilovatios hora, la cual corresponde a un valor de 317445.93kWh, y también podemos encontrar la irradiancia anual y la variación interanual, cuyos valores son 2073,85 kWh/m² y 10107.26 kWh. En ese mismo espacio el PVX nos muestra las pérdidas en la producción debido al ángulo de incidencia del Sol y a las temperaturas y bajas irradiancia, lo cual sumado a las pérdidas del sistema del 14% dan unas pérdidas totales del 21.26%.

A continuación de los datos explicados anteriormente, podemos encontrar dos gráficos de barras dónde se ve la perfecta correspondencia entre la producción de energía mensual del sistema diseñado y de la irradiación mensual sobre el plano, esto es un resultado lógico ya que a mayor irradiancia mayor producción de la instalación. Analizando un poco más a fondo estas gráficas, se puede observar que los meses de julio y agosto son los meses con mayor producción de energía, mientras que de lo contrario los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero que son los meses de invierno la producción de energía está en su nivel más bajo.

Por último, en la parte inferior de los resultados podemos observar unos valores, de los cuales los dos primeros corresponden a la producción eléctrica media mensual y a la suma media mensual recibida en cada metro cuadrado, de estos datos la producción eléctrica es la que anteriormente se ha representado en el gráfico de barras de color azul, y la suma media mensual de acción correspondiente con el gráfico de barras de color naranja anterior. En el otro dato que encontramos finalmente es la desviación estándar de la producción, cuyos valores en estos casos deben seguir una cuantificación inversa a los anteriores, es decir, en los meses donde se produce la mayor producción energética serán los meses con menor desviación de la producción eléctrica, qué podemos observar qué es el mes de julio, y por el otro lado podemos observar que el mes con menor producción

eléctrica que es enero es el mes con mayor desviación estándar de la producción eléctrica mensual debido a la variación interanual .

Una vez hemos analizado todos los datos que nos proporciona el PVGIS, es importante poder realizar el cálculo de rendimiento anual de la instalación y el performance ratio. El rendimiento anual de la instalación (YF), es el parámetro que normaliza la relación que existe entre la energía anual producida por la instalación y la potencia de pico de la propia instalación, y el performance ratio (PR) es el parámetro que mide la relación entre la energía que el sistema vende a red, con la energía que el sistema fotovoltaico ideal vendería a la red.

A continuación se muestran el valor de estos parámetros en nuestra instalación:

$$Yf = \frac{317445.93 \text{ kWh}}{194.4 \text{ kWp}} = 1632.95 \text{ kWh/kWp}$$

Ecuación 8. Cálculo del rendimiento anual

$$PR = \frac{1632.95 \text{ kWh/kWp}}{2073.85 \text{ kWh/m}^2} = 0.7874$$

Ecuación 9. Cálculo del performance ratio

El valor del rendimiento anual ha sido de 1632.95 kWh/kWp, el cual hemos obtenido a partir de dividir 317445.93 kWh que es la energía anual producida entre 194.4 kWp, que es la potencia de pico instalada, mientras que el valor del performance ratio es de 0.7874, valor típico de estas instalaciones, el cual ha sido obtenido dividiendo el rendimiento anual calculado anteriormente entre irradiación anual prevista, cuyo valor es 2073.85 kWh/m².

Capítulo 6. Análisis económico

El objetivo de este capítulo es llegar a conocer en cuánto tiempo vamos a poder amortizar la inversión que debemos de llevar a cabo para construir la instalación, para ello vamos a realizar un cálculo inicial de algunas magnitudes como puede ser el desembolso total de todo el proyecto.

Para poder saber cuánto nos va a costar la instalación debemos de saber cuántos paneles vamos a utilizar con sus respectivas estructuras, cuántos inversores, todo lo relacionado con cuadros de nivel I y II, el cableado, la ingeniería para el diseño de toda la instalación, la maquinaria necesaria para el montaje y toda la mano de obra entre la que esta, tanto los técnicos instaladores, los supervisores de obra y el equipo de puesta en marcha.

	Cantidad	Precio	Total
Paneles (palet de 27)	16	4279,77	68.476,32 €
Inversores	3	2902,381	6.300,00 €
Estructuras	144	226,73	32.649,12 €
Cuadros nivel I	3	564,94	1.694,81 €
Cuadros nivel II	1	2100,00	2.100,00 €
Cableado	1	28106,40	28.106,40 €
Ingeniería	1	25000	15.000,00 €
Alquiler maquinaria	1	10000	10.000,00 €
Instalación y SAT	1	93636	93.636,00 €
Total		257.962,65 €	

Tabla 4. Inversión inicial

En la tabla apuntada anteriormente podemos ver el precio de la instalación, el cual hemos calculado directamente a partir de nuestros proveedores en el caso de los equipos eléctricos estructuras, del precio real del cobre que ha subido mucho este año por lo que el precio del cableado es muy elevado, también se ha incluido la mano de obra que va a llevar a cabo la instalación y las pruebas de puesta en marcha, así como la maquinaria necesaria utilizada para eleva los paneles y el resto de equipos a la azotea del edificio.

Una vez hemos calculado el precio total de toda la instalación, deberemos de calcular el precio medio de la electricidad, la relación entre los kilovatios hora y los kilovatios de pico instalados, la potencia de pico instalada, que hemos calculado en apartados anteriores, la entrada inicial de pago al banco y el interés que nos va a cobrar el propio banco cuando solicitemos el préstamo para la instalación. En este tipo de proyectos es necesario pedir un préstamo bancario ya que se trata de una inversión muy grande.

Antes de llevar a cabo el análisis numérico de la rentabilidad del proyecto, vamos a definir unos conceptos que nos ayudará a entender dicho análisis:

- **Inflación:** es el aumento de la subida de los precios de los productos o servicios debido a la variación que se produce continuamente entre la producción y la demanda económica.
- **Cash Flow:** es la relación entre el dinero que entra y sale de un mismo punto, es decir, nos permite saber si al final de un determinado período hemos tenido pérdidas o beneficios.
- **TIR:** es un parámetro económico que nos señala la tasa de interés o rentabilidad que nos proporciona una inversión, y aplicado a una instalación, son los beneficios que nos proporciona la instalación durante el periodo en el que se mantiene activa y generando ingresos.

Potencia(kWp)	Horas(kWh/kWp)		Tarifa media anual(€/kWh)		
194.40	1632.95		0.06		
Inversión	Entrada	Interés	Plazo	Inflación	Inflación Electricidad
257968.80	25796.88	0.0600	10.00	0.02	0.07
Año	Ingresos	Mantenimiento	Impuestos	Préstamo	Cash-flow
0.00	0.00	0.00	0.00	25796.88	-25796.88
1.00	17536.95	876.85	1227.59	31544.72	-16112.21
2.00	18764.54	894.38	1313.52	31544.72	-14988.09
3.00	20078.05	912.27	1405.46	31544.72	-13784.41
4.00	21483.52	930.52	1503.85	31544.72	-12495.57
5.00	22987.36	949.13	1609.12	31544.72	-11115.60
6.00	24596.48	968.11	1721.75	31544.72	-9638.11
7.00	26318.23	987.47	1842.28	31544.72	-8056.24
8.00	28160.51	1007.22	1971.24	31544.72	-6362.67
9.00	30131.74	1027.37	2109.22	31544.72	-4549.57
10.00	32240.97	1047.91	2256.87	31544.72	-2608.54
11.00	34497.83	1068.87	2414.85	0.00	31014.11
12.00	36912.68	1090.25	2583.89	0.00	33238.54
13.00	39496.57	1112.05	2764.76	0.00	35619.76
14.00	42261.33	1134.30	2958.29	0.00	38168.74
15.00	45219.62	1156.98	3165.37	0.00	40897.27
16.00	48385.00	1180.12	3386.95	0.00	43817.93
17.00	51771.95	1203.72	3624.04	0.00	46944.19
18.00	55395.98	1227.80	3877.72	0.00	50290.47
19.00	59273.70	1252.35	4149.16	0.00	53872.19
20.00	63422.86	1277.40	4439.60	0.00	57705.86
21.00	67862.46	1302.95	4750.37	0.00	61809.14
22.00	72612.83	1329.01	5082.90	0.00	66200.93
23.00	77695.73	1355.59	5438.70	0.00	70901.44
24.00	83134.43	1382.70	5819.41	0.00	75932.32
25.00	88953.84	1410.35	6226.77	0.00	81316.72
TIR (%):					
12.82					
Retorno (Años):					
13.00					

Ilustración 39. Análisis de rentabilidad

En la ilustración 39, podemos observar la potencia de pico instalada de 194.4 kWp, la relación entre los kilovatios hora y los kilovatios de pico instalados y el precio medio de la electricidad, el cual hemos calculado a partir de los datos del último año, a partir de los cuales hemos tenido un valor de 0.06 €/kWh. También podemos observar el valor de la inversión inicial, así como de la entrada que corresponde al 10% del precio de la instalación. El interés al que ha sido puesto el préstamo es del 6% y a devolver en un plazo de 10 años. El valor de la inflación de la electricidad es del 7%, este valor ha sido

calculado a partir de la inflación de estos últimos años, y por último el valor del 2% corresponde a la inflación.

Una vez conocemos todos estos parámetros, podemos el balance económico de la instalación, a través del cash-flow, el cual se calcula de restarle a los ingresos generados el mantenimiento, los impuestos y la parte del préstamo a devolver cada mes. Todos los valores negativos del cash-flow, quieren decir que ese año hemos tenido pérdidas, y en consecuencia, los valores positivos corresponden a ganancias, sabiendo esto, podemos hacer el sumatoria de lo cash-flow de los distintos años, y justo cuando este valor pase a ser positivo, querrá decir que ya hemos amortizado la inversión, y que a partir de ese momento la instalación nos generará ingresos, lo cual podemos ver qué ocurre cuando han pasado 13 años.

Por último, vemos que el valor del TIR es del 12.82%, lo cual significa que esta instalación va a generar un beneficio del 12.82% anual respecto a la inversión inicial, lo cual, en comparación a lo que genera una inversión en un banco, podemos considerar que es un beneficio bastante elevado.

Capítulo 7. Planificación

En este capítulo mostramos una planificación de cómo se ejecutará la ejecución del proyecto a través del software MsProject, con un diagrama de Gantt.

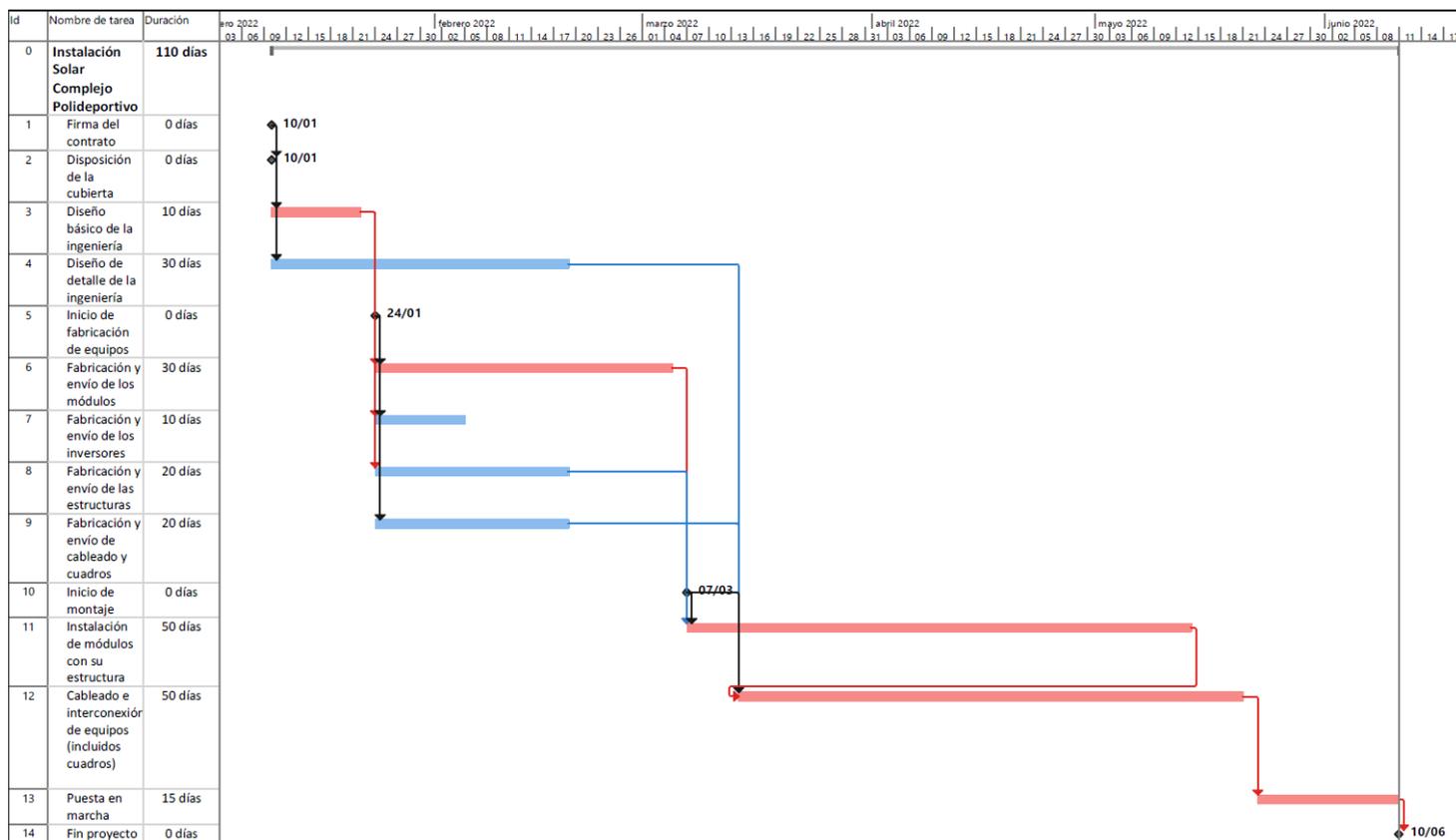


Ilustración 40. Diagrama de Gantt

En la ilustración 40, podemos ver el diagrama de Gantt de este proyecto, donde se han identificado las tareas más relevantes del proyecto, incluyendo el camino crítico, que está formado por las tareas que si se retrasan, retrasarán el tiempo total de ejecución del proyecto.

Capítulo 8. Conclusiones

En este capítulo vamos a explicar unas conclusiones generales, y futuras conexiones con otros proyectos.

A lo largo de este proyecto, he podido aprender las dificultades que tiene el diseño de una instalación fotovoltaica, donde considero que la mayor problemática es la elección de los equipos en función de sus características, y la compatibilidad entre ellos, es decir, la compatibilidad entre los módulos e inversores, ya que cuando tenemos en cuenta distintos factores, como la temperatura, que afecta en gran medida a los parámetros de los equipos, puede que resulte que ciertos equipos con determinada configuración no sean compatibles.

Un aspecto importante de una instalación de este tipo es el ahorro que genera, ya que como hemos podido ver a partir del año 13 desde su construcción, la instalación queda amortizada, y por lo tanto, a partir de esa fecha, la instalación genera beneficios mientras que se mantenga activa.

Un punto sobre el que reflexionar, sería sobre el enlace de este proyecto con otros futuros, y de todas las posibilidades, la más interesante desde mi parecer, sería el desarrollo de un centro de transformación, para poder inyectar la producción a la red de en media tensión.

Capítulo 9. Bibliografía.

En este capítulo, mostraremos toda la bibliografía utilizada al largo de este proyecto.

- <https://www.ree.es/es/>
- <https://www.esios.ree.es/es/pvpc>
- <https://www.omie.es/>
- <http://www.energetika.com.ar/Curva%20I-V.html>
- <http://www.ehu.eus/electronica-industrial/AmpliacionElectronicaIndustrial/vectorial/SVPWM2.pdf/>
- <https://www.amara-e.com/sobredimensionar/>
- <http://hazcanaro.es/project/cuadros-de-nivel-2/>
- <https://www.ambgreenpower.com/producto/cuadro-12-strings-stc12-160a-accac0010/>
- <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/>
- <https://autosolar.es/cables/>
- <https://masvoltaje.com/cable-manguera-electrica-al-corte-rz1k/713-exzhellent-xxi-rz1-k-cu-as-06-1kv-1x95mm2-cable-al-corte.html/>
- <https://www.elandcables.com/es/electrical-cable-and-accessories/cables-by-standard/iec-60228-cable/>
- <https://www.topcable.com/es/>
- <https://www.abcgrup.com/catalogos/Topcable.pdf/>
- <https://www.prysmianclub.es/calculo-de-las-formulas-para-obtener-la-seccion-por-caida-de-tension-ejemplo-de-calculo/>
- <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/puesta-a-tierra-de-instalaciones-con-placas-solares/>
- [https://www.urbipedia.org/hoja/Longitud_\(cartograf%C3%ADa\)/](https://www.urbipedia.org/hoja/Longitud_(cartograf%C3%ADa)/)
- <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta/>
- <https://tecnosolab.com/noticias/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/>
- <https://www.prysmianclub.es/calculo-de-lineas-para-una-instalacion-fotovoltaica-de-5-kw-para-autoconsumo/>
- <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis/>
- <https://www.google.es/maps/place/Complejo+Deportivo+Espartales/>

- <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- <https://www.se.com/es/es/partners/panel-builders/electrical-panels.jsp/>
- <https://atersa.shop/>
- <https://files.sma.de/downloads/Perfratio-TI-es-11.pdf/>
- http://www.ujaen.es/investiga/solar/documentacion_pv_in_bloom/Seminarios%20PV%20in%20Bloom.%20Estimacion%20de%20la%20energia%20generada..pdf/
- <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4183/fichero/2.-+anexo+calculo%252F6.-+Calc+instalac+fotovoltaica+I.pdf/>
- <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-que-es-la-energia/>
- <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/modulo-fotovoltaico/>
- <https://www.raisin.es/educacion-financiera/rentabilidad-que-es-tipos-y-como-se-calcula/>

Capítulo 10. Anexos

En este capítulo final, se adjuntan los documentos específicos utilizados en este proyecto.

Rendimiento de un sistema FV conectado a red

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

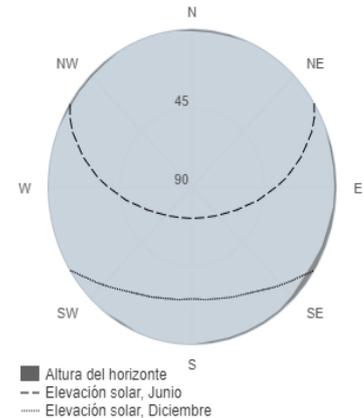
Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 40.507, -3.358
 Horizonte: Calculado
 Base de datos: PVGIS-SARAH
 Tecnología FV: Silicio cristalino
 FV instalado: 194.4 kWp
 Pérdidas sistema: 14 %

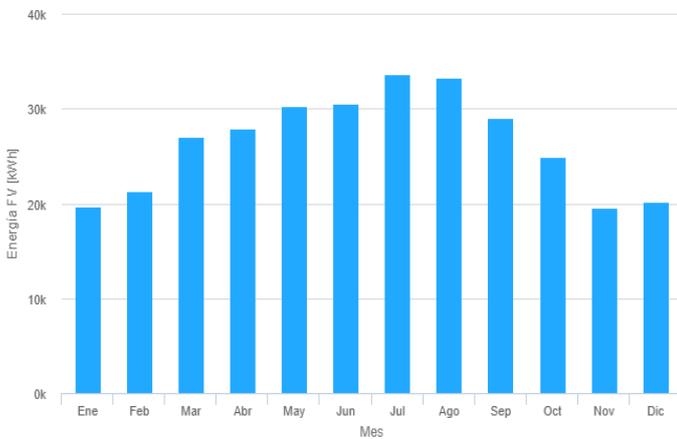
Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 35 °
 Ángulo de azimut: 0 °
 Producción anual FV: 317445.93 kWh
 Irradiación anual: 2073.85 kWh/m²
 Variación interanual: 10107.26 kWh
 Cambios en la producción debido a:
 Ángulo de incidencia: -2.61 %
 Efectos espectrales: 0.52 %
 Temperatura y baja irradiancia: -6.47 %
 Pérdidas totales: -21.26 %

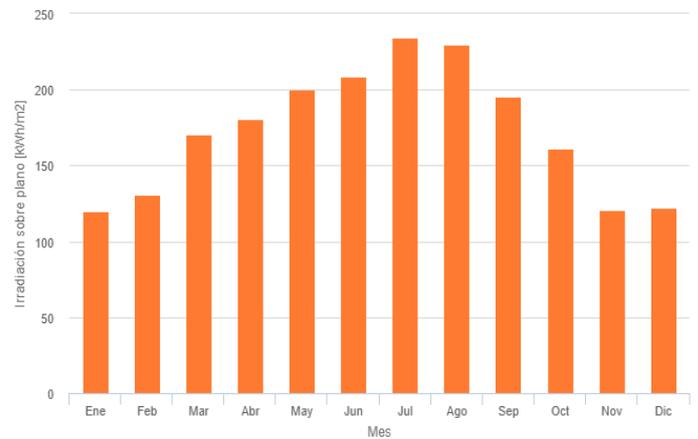
Perfil del horizonte:



Producción de energía mensual del sistema FV fijo:



Irradiación mensual sobre plano fijo:



Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	19748.71	19.7	4506.2
Febrero	21273.81	30.5	3570.3
Marzo	27095.01	70.4	3347.9
Abril	27904.81	80.4	2049.8
Mayo	30249.62	200.3	2296.4
Junio	30588.42	209.1	958.7
Julio	33685.02	234.1	992.4
Agosto	33237.42	229.8	544.2
Septiembre	29022.91	195.5	1021.9
Octubre	24933.81	161.3	2630.6
Noviembre	19523.31	120.6	3135.5
Diciembre	20183.31	122.3	2782.3

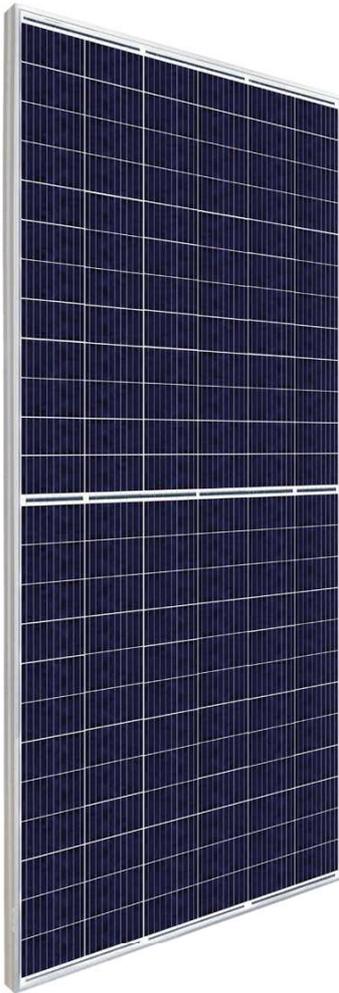
E_m: Producción eléctrica media mensual del sistema dado [kWh].

H(i)_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].

SD_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].



ptimum *nueva gama*



Módulo solar fotovoltaico (144 ½ Mono PERC 6")
A-xxxM GS 144 HM6 9BB (430/435/440/445/450 W)

- **Optimice sus instalaciones.**
- **Alta eficiencia** del módulo y potencia de salida estable, basado en una tecnología de proceso innovadora.
- **Funcionamiento eléctrico excepcional** en condiciones de alta temperatura o baja irradiación.
- Facilidad de instalación gracias a un **diseño de ingeniería innovador.**
- **Riguroso control de calidad** que cumple con los más altos estándares internacionales.
- **Garantía, 10 años** contra defectos de fabricación y **25 años** en rendimiento.



**A-xxxM GS 144 HM6 9BB (ES)** (xxx = potencia nominal)

Características eléctricas	A-430M GS 144	A-435M GS 144	A-440M GS 144	A-445M GS 144	A-450M GS 144
Potencia Máxima (Pmax)	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	40.70 V	40.90 V	41.10 V	41.30 V	41.50 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	10.57 A	10.64 A	10.71 A	10.78 A	10.85 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	48.50 V	48.70 V	48.90 V	49.10 V	49.30 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	11.31 A	11.39 A	11.46 A	11.53 A	11.60 A
Eficiencia del Módulo (%)	19.78	20.01	20.24	20.47	20.70
Tolerancia de Potencia (W)			0/+5		
Máxima Serie de Fusibles (A)			20		
Máxima Tensión del Sistema (IEC)			DC 1.000 V / DC 1.500V (**)		
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)			45±2		

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 w/m², espectro AM 1.5 y temperatura de 25 °C.
 Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±2% (Voc, Vmp); ±4% (Isc, Imp).
 Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%
 (***) Máxima tensión del sistema de 1.500 V se fabrica bajo pedido.

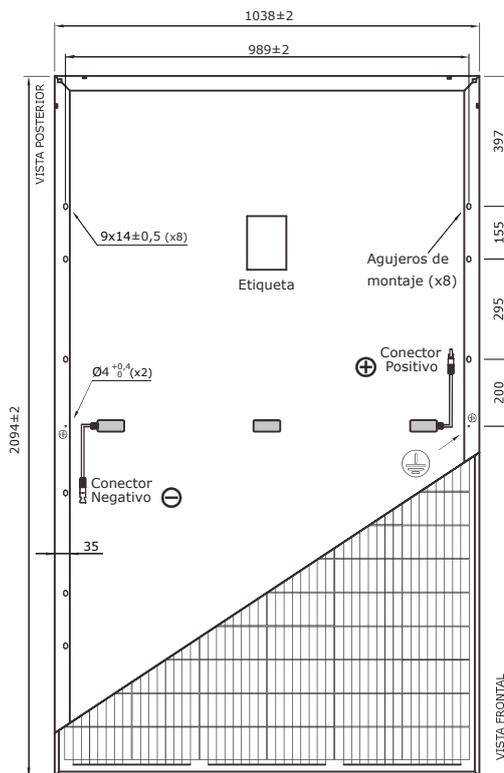
Especificaciones mecánicas

Dimensiones (± 2.0 mm.)	2094x1038x40 mm.
Peso (± 0.5 kg)	24.0 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve y viento)	5400 Pa
Máx. carga estática, posterior (viento)	2400 Pa
Máx. impacto granizo (diámetro/velocidad)	25 mm / 23 m/s

Materiales de construcción

Cubierta frontal (material/tipo/espesor) (*)	Cristal templado/grado PV/3.2 mm
Células (cantidad/tipo/dimensiones)	144 células (6x24)/ Mono PERC 9BB/ 166 x 83 mm
Marco (material/color)	Aleación de aluminio anodizado/plata
Caja de conexiones (protección/nº diodos)	IP68/3 diodos
Cable (longitud/sección) / Connector	300 mm. /4 mm ² /Compatible MC4

(*) Con capa anti-reflectante

Vista genérica construcción módulo

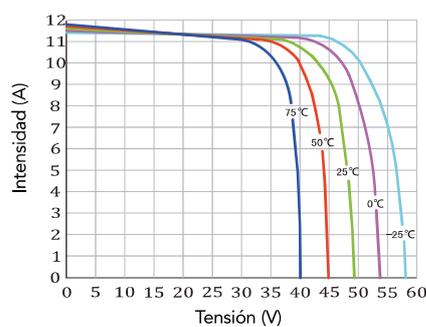
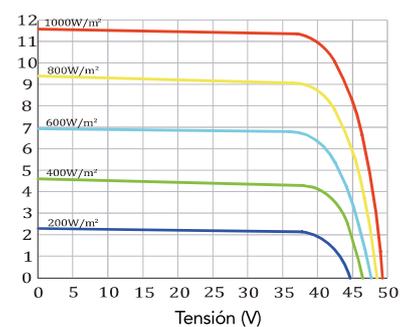
El dibujo no está a escala

Características de temperatura

Coef. Temp. de Isc (TK Isc)	0.049 % / °C
Coef. Temp. de Voc (TK Voc)	-0.271 % / °C
Coef. Temp. de Pmax (TK Pmax)	-0.352 % / °C
Reducción eficiencia (200W/m ² 25°C)	< 5%
Temperatura de Funcionamiento	-40 to +85 °C

Embalaje

Módulos/palé	27 pzas
Palés/contenedor 40' HQ	22 palés
Módulos/contenedor 40' HQ	594 pzas
Palés/contenedor 20'	10 palés
Módulos/contenedor 20'	270 pzas

Temperatura Varía (A-450M GS 144)**Irradiación Varía (A-450M GS 144)**

NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

➔ www.atersa.com • atersa@elecnor.com
 Madrid (España) +34 915 178 452 • Valencia (España) +34 961 038 430

Revisado: 18/01/21
 Ref.: MU-M6M 6x24 M6 9BB GS (ES)-B
 © Atersa SL, 2019



Solis-(40-70)K

Inversores Solis trifásicos



360 grados

Características:

- ▶ 99% de eficiencia máxima
- ▶ Rango de voltaje ultra amplio, voltaje de arranque ultra bajo
- ▶ 4 entradas MPPT, cada corriente nominal de 22/28.5A, compatible con módulos de alta potencia
- ▶ THDi <3% baja distorsión armónica
- ▶ Antirresonancia, compatible con más de 6 MW en paralelo en un transformador
- ▶ Solución perfecta de monitoreo de sitios comerciales
- ▶ Ventilador redundante inteligente



Modelo:

400V: Solis-40K Solis-50K Solis-60K-4G
480V: Solis-50K-HV Solis-60K-HV Solis-70K-HV-4G

Tabla de datos

Modelo	Solis-40K	Solis-50K	Solis-50K-HV	Solis-60K-HV	Solis-60K-4G	Solis-70K-HV-4G
Entrada (CC)						
Potencia de entrada máxima recomendada	48 kW	60 kW	60 kW	72 kW	72 kW	84 kW
Voltaje máxima de entrada	1100 V					
Voltaje de nominal	600 V	600 V	720 V	720 V	600 V	720 V
Voltaje de arranque	200 V					
Rango de voltaje MPPT	200-1000 V					
Corriente máxima de entrada	4*22 A	4*28.5 A	4*22 A		4*28.5 A	
Corriente máxima de cortocircuito	4*34.3 A	4*44.5 A	4*34.3 A		4*44.5 A	
Número de MPPT/Número máxima de cadenas de entrada	4/8	4/12	4/8		4/12	
Salida (CA)						
Potencia nominal de salida	40 kW	50 kW	50 kW	60 kW	60 kW	70 kW
Potencia máxima de salida aparente	44 kVA	55 kVA	55 kVA	66 kVA	66 kVA	77 kVA
Potencia máxima de salida	44 kW	55 kW	55 kW	66 kW	66 kW	77 kW
Voltaje nominal de la red	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230 V / 400 V		3/PE, 480 V		3/N/PE, 220V / 380V, 230V / 400V	3/PE, 480 V
Frecuencia nominal de la red	50 Hz / 60 Hz					
Corriente nominal de salida de red	58 A / 60.8 A	72.2 A / 76 A	60.2 A	72.2 A	86.6 A / 91.2 A	84.2 A
Corriente máxima de salida	66.9 A	83.3 A	66.2 A	80 A	100 A	92.6 A
Factor de potencia	>0.99 (0.8 que lleva a 0.8 de retraso)					
THDi	<3%					
Eficiencia						
Eficiencia máxima	98.8%		99.0%			
Eficiencia EU	98.4%		98.5%			
Protección						
Protección contra polaridad inversa DC	Sí					
Protección contra cortocircuito	Sí					
Protección de sobrecorriente de salida	Sí					
Protección contra sobretensiones	Sí					
Monitoreo de red	Sí					
Detección Anti-isla	Sí					
Protección de temperatura	Sí					
Monitoreo de cadenas	Sí					
Función anti-PID	Opcional					
AFCI integrado (Protección de circuito de falla de arco CC)	Opcional					
Interruptor de CC integrado	Opcional					
Datos generales						
Dimensiones (longitud*ancho*altura)	630*700*357 mm					
Peso	61 kg	63 kg	61 kg		63 kg	
Topología	Sin Transformador					
Consumo propio (noche)	<1 W					
Rango de temperatura de funcionamiento	-25 ~ +60°C					
Humedad relativa	0-100%					
Nivel de protección	IP65					
Enfriamiento	Convección natural	Ventilador redundante inteligente	Convección natural	Ventilador redundante inteligente		
Altitud máxima de funcionamiento	4000 m					
Estándar de conexión de red	G98 or G99, VDE-AR-N 4105 / VDE V 0124, EN 50549-1, VDE 0126 / UTE C 15 / VFR:2019, RD 1699 / RD 244 / UNE 206006 / UNE 206007-1, CEI 0-21, C10/11, NRS 097-2-1, EIFS 2018.2, IEC 62116, IEC 61727, IEC60068, IEC 61683, EN 50530					
Estándar de seguridad / EMC	IEC/EN 62109-1/-2, IEC/EN 61000-6-2/-4					
Características						
Conexión de CC	Conector MC4					
Conexión de CA	Terminal OT					
Pantalla	LCD					
Comunicación	RS485, Opcional: Wi-Fi, GPRS					

Ficha técnica

Soporte inclinado abierto regulable para cubierta plana

12V



- Soporte inclinado para cubierta de hormigón o subestructura.
- Anclaje a hormigón.
- Soporte premontado.
- Regulable de 20° a 35°
- Disposición de los módulos: Vertical.
- Valido para espesores de módulos de 30 hasta 45 mm.
- Tornillería de anclaje no incluida.
- Kits disponibles de 1 hasta 6 módulos.

Viento: Hasta 150 Km/h (Ver documento de velocidades del viento)

Materiales: Perfilería de aluminio EN AW 6005A T6
Tornillería de acero inoxidable A2-70

Comprobar el buen estado y la capacidad portante de la cubierta antes de cualquier instalación.
Comprobar la impermeabilidad de la fijación una vez colocada.

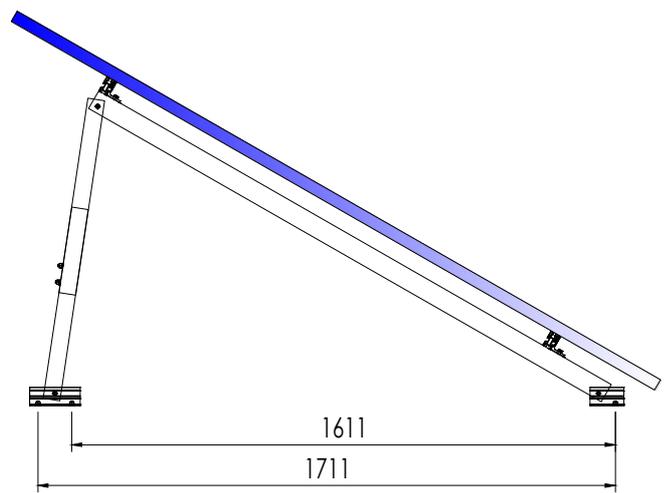
Dos opciones:

Para módulos de hasta **2279x1150 - Sistema Kit**

2279x1150  (Ver página 2)

Para módulos de hasta **2400x1350 - Sistema PS**

2400x1350  (Ver página 3)



Par de apriete:

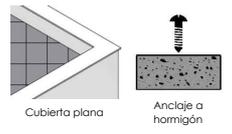
Tornillo Presor	7 Nm
Tornillo M8 Hexagonal	20 Nm
Tornillo M10 Hexagonal	40 Nm
Tornillo M6.3 Hexagonal	10 Nm



Herramientas necesarias:



Seguridad:



Reservado el derecho a efectuar modificaciones. Las ilustraciones de productos son a modo de ejemplo y pueden diferir del original.

TOPSOLAR[®] PV H1Z2Z2-K

TÜV solar PV cable.

BASED ON: EN 50618 / IEC 62930 / UTE C 32-502

DESIGN



Conductor

Class 5 (flexible) tinned copper, based on EN 60228 and IEC 60228.

Insulation

Low smoke zero halogen (LSHF) cross linked rubber insulation.

Outer sheath

Low smoke zero halogen (LSHF) cross linked rubber outer sheath, red or black colour.

APPLICATIONS

The Topsolar[®] PV H1Z2Z2-K cable, which is TÜV certified according to IEC 62930 and EN 50618, is suitable for both fixed and mobile solar installations (solar farms, rooftop solar installations and floating plants).

It is a highly flexible cable compatible with all major connectors and specially designed for the connection of photovoltaic panels. This versatile single-conductor cable is designed to meet the varying needs of the solar industry. Suitable for wet, damp and humid locations.

- Solar PV installations - string cable.

PV WIRE ALSO
AVAILABLE



More information at: www.topcable.com

TOP CABLE TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K

FEATURES



Electrical performance

Low voltage 1,5/1,5 1kV (1,8) kV DC.
1,0/1,0 kV (U_0/U).



Based on

EN 50618/ IEC 62930 / UTE C 32-502.



Standards and approvals

TÜV / RETIE / RoHS / CE.



CPR (Construction Products Regulation)

C_{ca} -s1b, d2, a1.



Thermal performance

Maximum service temperature: 120°C.
Maximum short-circuit temperature: 250°C (max. 5 s).
Minimum service temperature: -40°C (fixed and protected installations).



Fire performance

Flame non-propagation based on EN 60332-1 and IEC 60332-1-2.
Fire non-propagation based on EN 50399.
Reaction to fire CPR: C_{ca} -s1b, d2, a1, according to EN 50575.
LSHF (Low Smoke Zero Halogen) based on UNE-EN 60754-1 and IEC 60754-1.
Low smoke emission based on EN 61034 and IEC 61034: Light transmittance > 60%.
Low corrosive gases emission based on UNE-EN 60754-2 and IEC 60754-2.



Mechanical performance

Minimum bending radius: x5 cable diameter.
Impact resistance: AG2 Medium severity.



Chemical performance

Chemical & Oil resistance: Excellent.
Grease & mineral oils resistance: Excellent.
UV UV Resistant based on EN 50618.
O₃ Ozone resistant based on EN 50618.



Water performance

Water presence: AD8 submerged.



Other

Meter by meter marking.
Estimated lifetime 25 years based on EN 50618.
 Optional: rodent proof and termite proof.



Installation conditions

Open Air.
Buried.
On conduit.



Packaging

Available in rolls (lengths of 100 m) and reels.

SOLAR CABLES



TOPSOLAR® PV
H1ZZZ2-K



TOPSOLAR® PV
H1ZZZ2-K DUAL



TOPSOLAR® PV
AL 1500 V



TOPSOLAR® PV
AL 2kV PV WIRE

Descripción:	Información técnica y manual del cuadro STC12 160A
Revisión:	1ª versión

En este documento se explicarán las características técnicas y el manual de uso del cuadro de series pequeño (hasta 12 strings). A lo largo de este informe veremos todo lo necesario para manejar el cuadro con seguridad y conocer sus ventajas.

FICHA TÉCNICA CUADRO STC12 160A

Descripción del cuadro:

Cuadro protección series fotovoltaicas sin monitorización, hasta 12 entradas + con bases portafusibles y fusibles para continua de 16A y 12 entradas - con protección de fusible. Salida con seccionador hasta 1000Vdc y 160A, sin contacto auxiliar de estado. Montado en armario de poliéster con puerta opaca, 700x500x300mm, IP55. Entradas con prensaestopas M16 para entrada de cable de strings, de M20 para las salidas de tierra y del seccionador. Con protector contra sobretensiones de continua clase 2 hasta 1000Vdc, sin contacto auxiliar. Completo, montado y cableado. Según normas IEC.

Elementos del cuadro:

El cuadro está compuesto fundamentalmente por los siguientes elementos:

- Armario poliéster 700x500x300mm, IP 55 con placa de montaje aislante
- Protector contra sobretensiones de continua clase 2 hasta 1000Vdc
- Fusible.10x38 16A 900Vdc
- Base portafusible UTE 10x38 carril 32A 1000Vdc
- Seccionador hasta 1000Vdc y 160A
- Prensaestopas M16
- Prensaestopas M20

Tabla de características:

CARACTERÍSTICAS GLOBALES DEL MONTAJE	
Tensión máxima de uso	1000Vdc
Corriente máxima de uso	160A
Tensión de aislamiento	1000Vdc
Capacidad de seccionamiento	Si, por interruptor de corte en carga
Protección por fusible	Si
Protección contra sobretensiones	Si
IP	55
Prensaestopas	Si
CARACTERÍSTICAS DEL INTERRUPTOR	
Marca	Telergon / Socomec
Tensión máxima de corte	1000Vdc
Corriente máxima de corte	160A
Tensión de aislamiento	1000Vdc
Accionamiento	Por mando directo
Categoría de empleo	DC21
Tipo de conexión	Disponible en pletina ó brida
CARACTERÍSTICAS DEL FUSIBLE	
Marca	DF
Tensión máxima de uso	900Vdc
Corriente de fusión de fusible	16A
Tensión de aislamiento (base)	1000Vdc
Corriente máxima de la base	32 A
Tipo de base	UTE
Calibre	10x38
Montaje	Carril
Conexión	Brida
CARACTERÍSTICAS DEL PROTECTOR	
Marca	Weidmüller
Tipo	Tipo II
Tensión de uso	1000Vdc
I de descarga	40kA
CARACTERÍSTICAS DE LA ENVOLVENTE	
Marca	Claved
Dimensiones máximas	700x500x300mm
IP	55
IK	10
Tapa	Transparente
Prensaestopas	Si (M16 y 20)
IP Prensas	66
Placa de montaje	Aislante

MANUAL DE USO

Instalación:

- El cuadro de strings STC12 160A requiere la instalación por personal capacitado.
- El armario puede ir ubicado en interior o a la intemperie.
- El cableado consiste en conectarle las entradas de string a los fusibles, la tierra al protector y la salida de agrupación que llegar al inversor o siguiente cuadro de protecciones de un nivel más alto.
- Prestar especial atención en cablear los polos positivos y negativos en los fusibles y terminales indicados. Nunca mezclarlos.
- Tras esto cerrar las bases portafusibles y el interruptor.

Precauciones:

- El mantenimiento debe realizarse por personal capacitado.
- Se recomienda cerrar firmemente los prensaestopas para garantizar la estanqueidad adecuada al entorno.
- Nunca hay que abrir los fusibles en carga, cortar primero la generación abriendo con el interruptor.
- Vigilar que el protector contra sobretensiones esté Ok, si no es así cambiarlo, previo corte del interruptor.

Funcionamiento:

- Si un string queda en cortocircuito antes de los fusibles, el cuadro protege los cables provenientes del string, mediante los fusibles, de la Icc de las strings que están paralelo con la string en corto.
- La caja permite realizar funciones de mantenimiento con el interruptor de corte en carga que aislará el resto de la instalación del conjunto de strings conectadas al cuadro.
- Ante una sobretensión el cuadro protege la instalación disipando la misma con su protector contra sobretensiones.

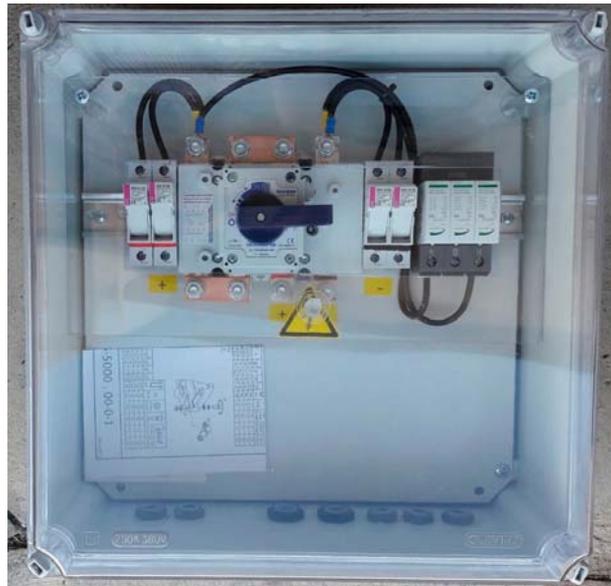
Con un fusible fundido o en mal estado:

- Es muy importante cortar el interruptor antes de abrir cualquier fusible. Después abrir el fusible con tranquilidad y sustituirlo, luego volver a cerrar el interruptor

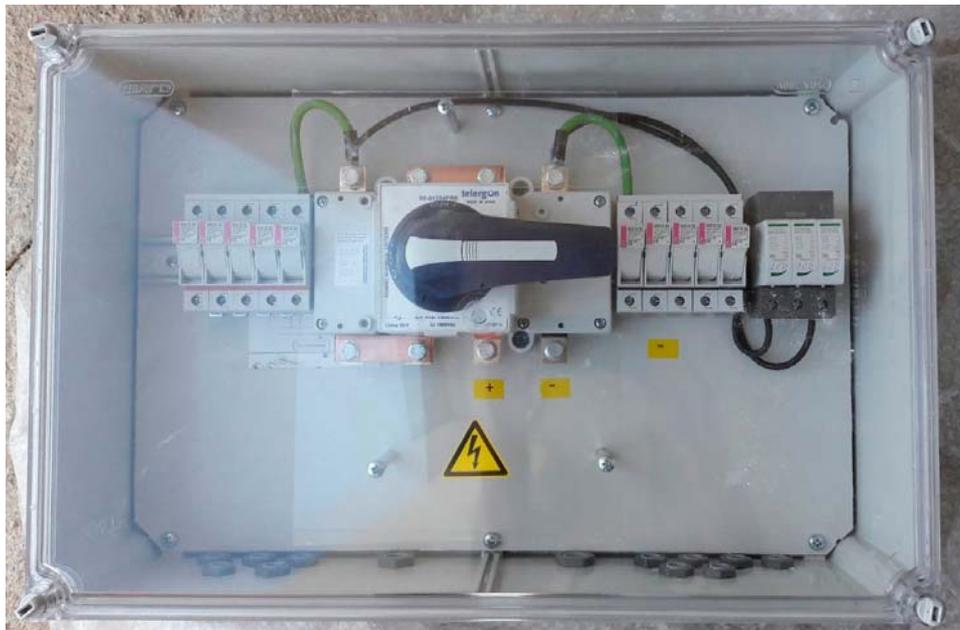
* Nota: Documento sin validez contractual las marcas de los componentes pueden variar según la disponibilidad

FOTOGRAFÍAS DE LOS EQUIPOS

CUADRO STC2 25A



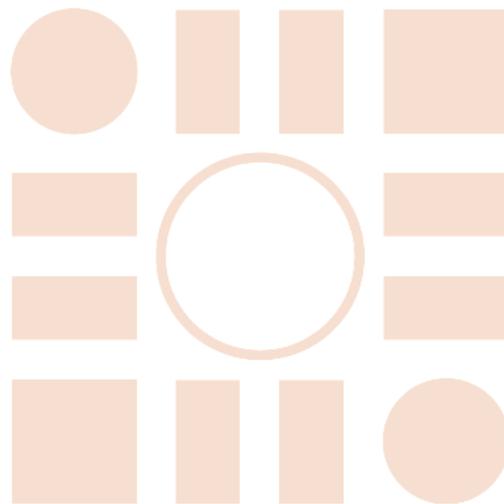
CUADRO STC5 100A



* Nota: Fotografías Orientativas, las marcas de los componentes pueden variar según la disponibilidad

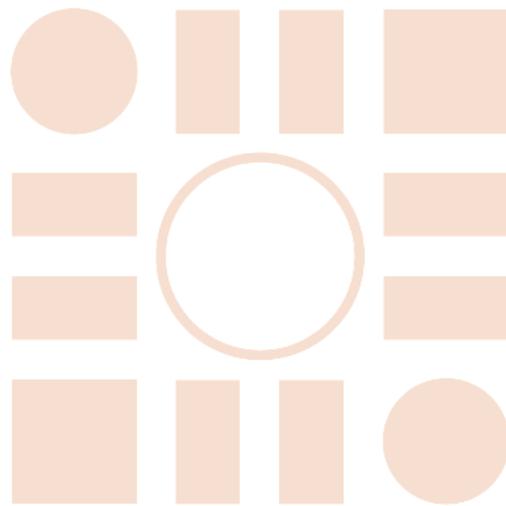
Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior

2021



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá