

**INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL
CAMPUS DE ELCHE DE LA UNIVERSIDAD
MIGUEL HERNÁNDEZ PARA
AUTOABASTECIMIENTO**



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Trabajo de Fin de Grado

Autor: Miguel Torrecilla Palao

Tutora: Dra. Etelvina Andreu Sánchez

Grado de Ciencias Ambientales

Departamento de Física Aplicada

Área de Física Aplicada

Facultad de Ciencias Experimentales



A todas y cada una de las personas que han mostrado interés en este proyecto, apoyado, ayudado y, sobre todo, aguantado mientras trabajaba en él. A mis padres y familia, ya que sin ellos no habría llegado a este punto. Dar las gracias también a Benti, por recomendarme que entrara en Ciencias Ambientales cuando no sabía qué hacer con mi vida, porque de otra manera no me habría enamorado de una carrera tan hermosa como Ambientales. Por otro lado, me gustaría agradecer al Presidente de los Estados Unidos Donald Trump por darme motivos para preocuparme por el medio ambiente. En último lugar, mi más sentido agradecimiento a la Dra. Etelvina Andreu por su valiosísima ayuda e infinita paciencia, aceptar ser mi tutora y hacer posible este proyecto.

INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL CAMPUS DE ELCHE DE LA UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ PARA AUTOABASTECIMIENTO

Autor: Miguel Torrecilla Palao

Tutora: Etelvina Andreu Sánchez

Área de Conocimiento: Física Aplicada

Resumen: En el presente trabajo se aborda el diseño y dimensionamiento de una instalación solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica con el fin del autoabastecimiento en el campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández. Dicho estudio contempla tanto la producción eléctrica necesaria para cubrir la demanda total o, parcial, según sea el caso, del alumbrado o del requerimiento energético de los distintos edificios de la universidad. Para este trabajo se han tenido en cuenta las condiciones climáticas medias de la zona, así como las necesidades energéticas anuales para un diseño eficiente del sistema en el que se ha dado particular importancia a la viabilidad económica del proyecto.

Palabras clave: Instalación solar fotovoltaica, autoabastecimiento, panel solar, efecto fotoeléctrico, corriente alterna

Abstract: This paper addresses the design and dimensioning of a solar photovoltaic installation connected to the main electric network with the objective of self-supplying the Elche's campus of the Miguel Hernández University. This studio contemplates the electrical production needed to cover partially or totally the exterior lighting as well as the energy demand of the university buildings. The meteorological conditions and the annual energetic demand have been taken into account to make an efficient design in which the economic viability is paramount.

Keywords: Photovoltaic solar installation, self-supply, solar panel, phototelectric effect, alternate current.

ÍNDICE

1. Introducción	- 1 -
2. Objetivos	- 3 -
3. Memoria del proyecto	- 3 -
3.1.Introducción a la energía solar fotovoltaica	- 3 -
3.1.1.Energía solar:	- 3 -
3.1.2.Los efectos fotoeléctrico y fotovoltaico	- 6 -
3.1.3.Célula módulo y generador fotovoltaico	- 9 -
3.1.4.Parámetros de funcionamiento de la célula y el módulo fotovoltaico.	- 11 -
3.1.5.Factores que afectan a la curva IV	- 13 -
3.1.6.Sistemas fotovoltaicos.	- 14 -
3.1.7.Estructura soporte	- 16 -
3.1.8.Inversor	- 16 -
3.1.9.Dispensador	- 16 -
3.2. Antecedentes y estudio del terreno.	- 16 -
3.2.1. Localización y entorno del campus.	- 16 -
3.2.2. Datos generales del campus.	- 17 -
3.2.3. Análisis de las necesidades energéticas de la compañía.	- 17 -
3.2.4. Ubicación de la instalación	- 19 -
3.3. Legislación y coyuntura actual.	- 21 -
4. Cálculos de la instalación.	- 24 -
4.1. Demanda energética.	- 24 -
4.2. Dimensionado de la instalación fotovoltaica.	- 25 -
4.2.1. Determinación de la inclinación óptima	- 25 -
4.2.2. Sombras cercanas.	- 27 -
4.3. Elección del módulo fotovoltaico.	- 27 -
4.4. Elección del inversor	- 28 -
4.5. Diseño de la instalación	- 29 -
4.6. Resultados de la simulación	- 29 -
5. Presupuesto estimado	- 30 -
6. Viabilidad económica del proyecto.	- 32 -
7. Conclusiones.	- 34 -
8. Bibliografía	- 36 -
9. ANEXOS	- 38 -

1. Introducción

Dada la actual situación mundial social de consumo energético derivada de un elevado ritmo de explotación de los recursos naturales por parte de los habitantes del hemisferio norte, es incontestable el hecho de que, para mantener un actual nivel de vida que se identifique con los paradigmas de bienestar y derecho es necesaria una producción energética de niveles astronómicos.

De las conocidas como fuentes de energía tradicionales, en las que se engloban tanto la energía hidráulica, como la nuclear y la térmica se derivan unos efectos colaterales de gran riesgo como son la sobreexplotación de estos y un daño casi irreparable para el medio ambiente.

De entre los efectos colaterales anteriormente citados cabe destacar la desertización, el aumento de la temperatura a nivel global, la deforestación, la pérdida de biodiversidad a nivel global, el derretimiento de los casquetes polares y la subida del nivel del mar. Todos estos efectos se consideran derivados del incremento de consumo y producción de energía a nivel global. (Tommasino, Foladori & Taks, 2006, pág 17)

Sin embargo, cabe destacar el hecho de que el 80% del consumo energético se realiza en el hemisferio norte, lo que abarca a un cuartil de la población mundial, por lo que, si se entiende que los tres cuartiles restantes se industrializan de manera similar a la marcada por el hemisferio norte, la satisfacción de una demanda energética de semejantes magnitudes indudablemente será de una dificultad inasumible. (Sacristán Benito, S. 2014, pág. 10)

Por todo lo mencionado, los gobiernos y organismos con capacidad de actuación en dicho sector llevan a cabo planes de concienciación para evitar el consumo desmedido y sus consecuencias, así como la importancia de mantener una elevada tasa de eficiencia energética. Tal como investigan nuevas fuentes de obtención de energía más limpias, a la par que maneras de optimización de fuentes renovables que tengan baja eficiencia.

Ante la gravedad del problema que supone el uso de las fuentes de energía anteriormente citadas, la energía eólica, y las solares (tanto la solar térmica como la solar fotovoltaica, se configuran como unas alternativas viables, inagotables y cuyo uso presenta una huella ecológica casi mínima en comparación con las anteriores.

La energía recibida del Sol de manera anual es equivalente a $1,49 \times 10^8$ kWh, que supera con creces la cantidad de energía consumida a nivel mundial. Por lo que se entiende el Sol como una fuente de energía inagotable y limpia, cuyos únicos costes equivaldrían a la instalación y mantenimiento de los equipos captadores, lo que la hace económicamente muy rentable comparada con las energías convencionales. (Castro Gil, Carpio Ibáñez, Guirado Torres, Colmenar Santos, & Dávila Gómez, 2000, pág. 5)

En el caso que nos atañe (campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández), nos encontramos en uno de los lugares de mayor irradiancia solar de toda Europa ($5.2 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{día}$, según ADRASE), superando la media de una de las ciudades de mayor irradiancia de Europa: Atenas con $4,92 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{día}$ (Sancho Ávila, Riesco Martín, Jiménez Alonso, Sánchez de Cos Escuin, Montero Cadalso, & Lopez Bartolomé, 2012). Teniendo en cuenta estos datos, resulta indudable lo ideal de la zona para el aprovechamiento de la energía solar, por lo que sólo queda estudiar la viabilidad del autoconsumo energético que pueda tener la universidad desde el punto de vista económico.

En dicho campus tenemos 2 puntos de suministro con 2 potencias contratadas: 3800 kW en el centro de entrega y medida de todo el campus y 451 kW para el edificio rectorado, sin embargo, se utilizan únicamente 250 kW para el edificio del rectorado y 2600 kW para el resto del campus, situación que se explicará a lo largo del trabajo.

Por medio de la energía fotovoltaica se puede transformar la energía que posee la luz en forma de fotones en energía eléctrica si se produce bajo las condiciones adecuadas en un material determinado.

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red se han empleado en diversos ayuntamientos como medida de reducción en la factura eléctrica. Ejemplos válidos de ayuntamientos que han instalado estos sistemas satisfactoriamente son los de Monforte del Cid (un aparcamiento solar cuya potencia nominal es de 500 kWh, con capacidad para abastecer a 400 hogares y evitando la emisión de 530 t de CO_2 a la atmósfera) y Mallorca, con la instalación de un aparcamiento con placas solares en el aeropuerto para cubrir las necesidades de este.

Este proyecto profesional nace del deseo de conservar la Tierra mediante el consumo de energías limpias y sostenibles, luchando contra el cambio climático y la desertización generado por el uso sin sentido de las energías convencionales. Así mismo nace del deseo de posicionar a la UMH como una de las primeras universidades en el autoconsumo energético, reduciendo su huella ecológica y coste de las facturas eléctricas.

Por todo lo mencionado, los gobiernos y organismos con capacidad de actuación en dicho sector llevan a cabo planes de concienciación para evitar el consumo energético desmedido y sus consecuencias, así como dar peso a la importancia de mantener una elevada tasa de eficiencia energética.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado es la realización de un proyecto profesional que estudia la viabilidad del dimensionamiento de una instalación fotovoltaica con el fin de autoabastecer o, en su defecto suplir en parte el consumo energético del campus de Elche de la UMH.

Asimismo, este trabajo busca la aplicación de los numerosos conocimientos adquiridos en la carrera de Ciencias Ambientales, con el objetivo de la implantación de un sistema de aprovechamiento de energías renovables con la función añadida de ofrecer un techo que mejore la calidad de uno de los aparcamientos más grandes del campus, el cual utilizan miles de estudiantes, profesores y personal administrativo.

3. Memoria del proyecto

3.1. Introducción a la energía solar fotovoltaica

3.1.1. Energía solar:

La constante llegada de energía por parte del Sol lo convierte en una de las mejores fuentes de energía de las que podemos disponer actualmente. Dicho aporte es muy difuso, y su intensidad puede ser muy irregular, con lo que choca frontalmente con el modelo de aprovechamiento energético actual, en el que el mayor consumo se da en núcleos hiperurbanizados y en pequeñas zonas muy industrializadas. (Santamarta, 2004)

La energía solar es la energía electromagnética generada por el Sol (es la única que puede transmitirse en el vacío), la cual podemos descomponer, a primera vista en dos aspectos fundamentales: la luz y el calor. Sin embargo, si se presta atención al espectro (una representación gráfica de la energía y en qué rangos de su longitud de onda se concentran), se descubre que la energía solar abarca fenómenos más allá de la luz y el calor.

Así mismo, se ha demostrado que la relación entre la longitud de onda y el poder energético es inversa, por lo que, a menor longitud de onda, mayor poder energético (Wien, 1893). Tal y como se describe en la fórmula de Wien:

$$\lambda_{max} = \frac{0.002898}{T}$$

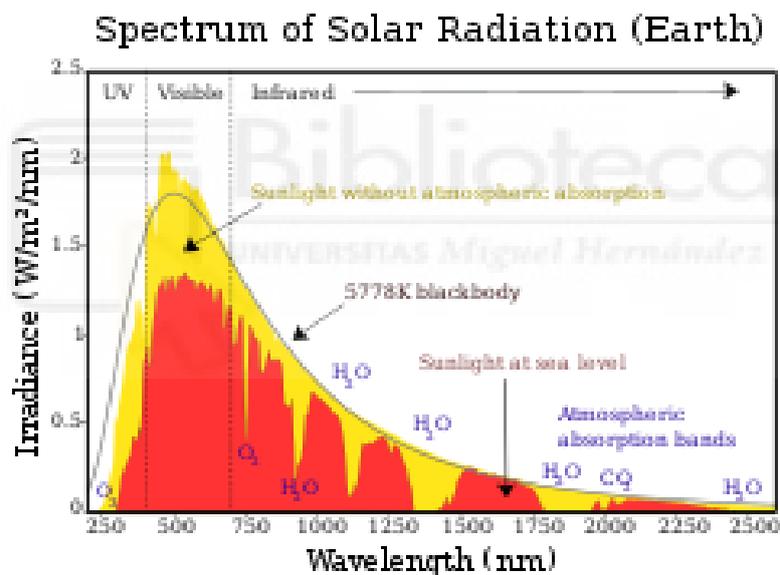


Figura 1: Irradiancia espectral del Sol en W/m² vs nm (cortesía de wikipedia)

Si bien es necesario tener en cuenta las variaciones diarias y estacionales de la radiación, se ha demostrado experimentalmente que el Sol emite 1.353W/m² de manera constante. Así mismo cabe resaltar el hecho de la existencia de dos componentes de la radiación, siendo éstas la directa (recibida cuando el cielo está despejado) y la difusa (reflejada por la atmósfera y las nubes) (Santamarta, 2004). A medida que la radiación va atravesando la atmósfera, va perdiendo energía, por lo que va modificando su distribución espectral. Dicha pérdida de energía se debe a los fenómenos de difusión,

reflexión y absorción que se dan de forma natural en la atmósfera, que deriva casi la mitad de la energía recibida de vuelta al espacio. Por otra parte, existen elementos físicos que dificultan el paso de la radiación solar hasta la superficie, como es el caso del polvo, las nubes, y el vapor de agua de manera especial, los cuales o bien absorben la radiación, o bien la reflejan.

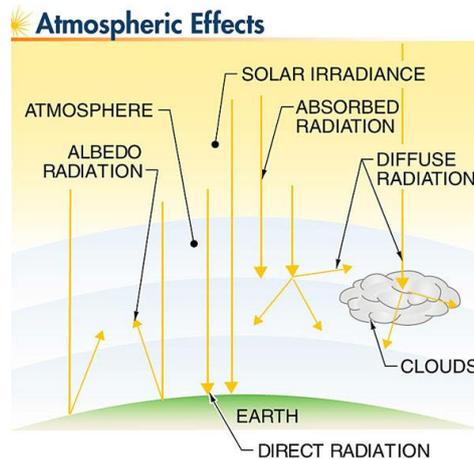


Figura 2: Esquema de la pérdida de energía solar a su paso por la atmósfera

Aun despreciando todos los factores anteriormente mencionados, la intensidad de la radiación varía a su vez de factores que podríamos denominar geográficos: espesor de la capa del aire, estación del año, latitud, etc. Teniendo en cuenta los factores anteriormente mencionados, podemos empezar a comprender la elevada complejidad de los componentes que influyen en la intensidad de radiación recibida en una determinada localización. A pesar de dichos factores, la media de la radiación recibida es de unos 1.000 W/m^2 . (Green, Emery, Hishikawa, & Warta, 2010)

A todo ello hay que sumar la desigual distribución de radiación en el planeta: dependiendo de la hora del día, latitud del lugar, orientación de la superficie receptora (factores perfectamente calculables) y de las condiciones climáticas (únicamente predecibles en términos estadísticos) del lugar, la radiación será mayor o menor.

Como se puede deducir por lo anteriormente expuesto, el conocer la potencia de la radiación terrestre se designa como un problema de compleja definición, y hace necesario el uso de tablas con valores estadísticos de la potencia que podemos encontrar en diferentes horas a lo largo de los meses. A continuación, las figuras 3 y 4 muestran la irradiancia media anual a nivel mundial y nacional.

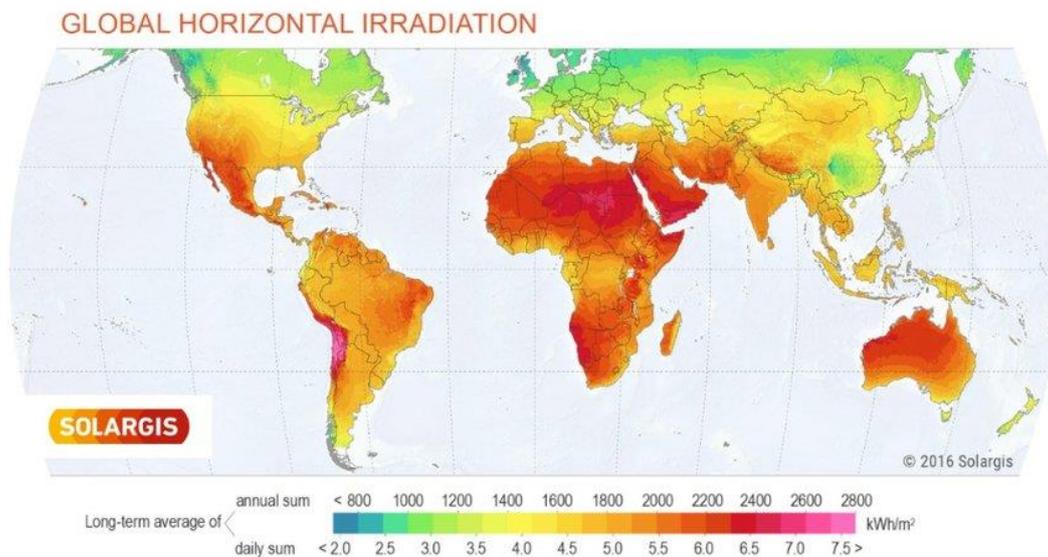


Figura 3: Irradiancia media anual y diaria a nivel mundial (fuente: <http://solargis.info>)

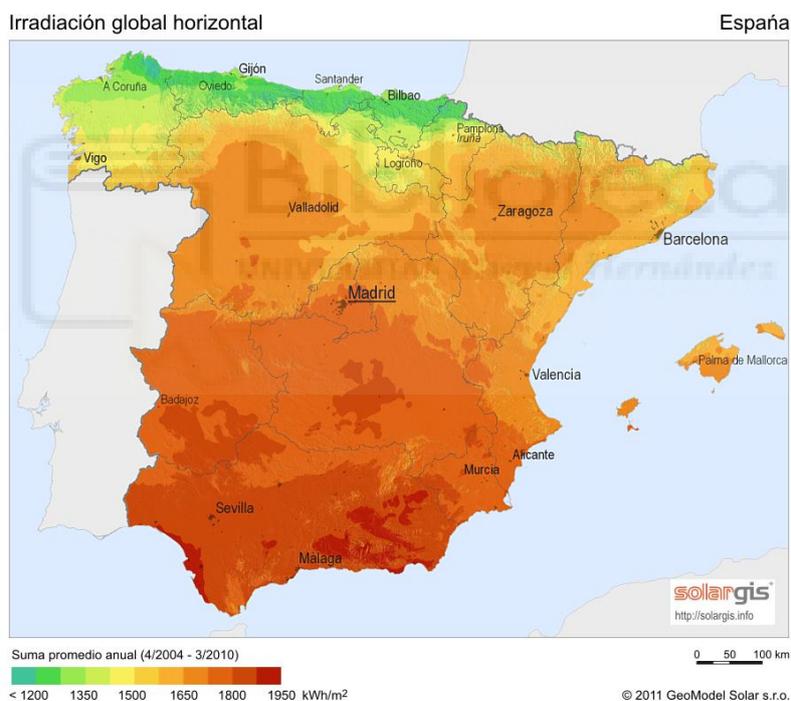


Figura 4: Irradiación media en España (Fuente: <http://solargis.info>)

3.1.2. Los efectos fotoeléctrico y fotovoltaico

El aprovechamiento de la radiación solar se da gracias al efecto fotoeléctrico. Éste consiste en la emisión de electrones por parte de una superficie metálica mediante su iluminación de un haz luminoso de frecuencia apropiada (Einstein, 1905).

El efecto radica en la absorción de la energía de los fotones por parte de los electrones del material, los cuales adquieren un nivel energético superior (si dicho nivel es superior al necesario para abandonarlo, se genera un par electrón-hueco, el cual tiene comportamiento positivo). La energía de los fotones se divide en dos partes:

- Liberar el electrón de la estructura cristalina.
- Aumentar su energía cinética

Si se diera el caso de que la energía de los fotones es baja, los electrones no podrán abandonar el material, por lo que no se producirá la fotoemisividad.

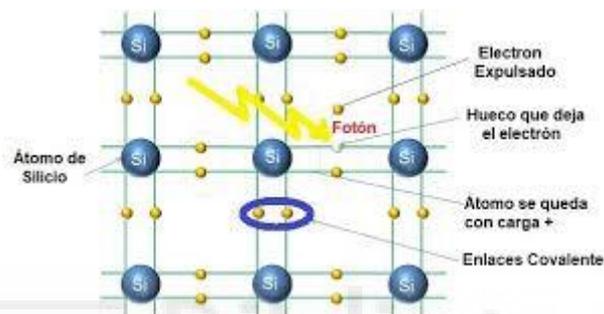


Figura 5: Efecto fotoeléctrico (areatecnologia.com)

El material empleado para que se produzca el efecto de fotoemisividad debe ser semiconductor, siendo el Silicio el más utilizado. Cada semiconductor tiene una energía mínima necesaria para romper un enlace y que se produzca un par electrón-hueco (es decir, una longitud de onda máxima). En el caso del Silicio es necesaria una energía superior de 1.12eV, correspondiente a una longitud de onda inferior a 1.100 nm.

Los electrones y los huecos se mueven aleatoriamente pudiendo ocupar cada electrón un hueco libre, pudiendo llenar un electrón un hueco libre en lo que se denomina "recombinación del par electrón-hueco". Este movimiento de cargas genera una corriente eléctrica en el interior del material denominada conductividad intrínseca, la cual carece de efectos externos, y por tanto no produce electricidad.

El efecto fotovoltaico fue descubierto por Becquerel en 1839, consistiendo en la generación de fuerza electromotriz en un dispositivo semiconductor a partir de la absorción de radiación electromagnética. Las células fotovoltaicas parten de este concepto para transformar la energía luminosa del Sol en energía eléctrica. (Santamarta,

2004). La manera de convertir dicho movimiento en corriente eléctrica es conseguir direccionar el movimiento errático de los electrones, que pasa por crear un campo eléctrico en el lecho del material. La forma más usual de generar dicho campo eléctrico interno es impurificar con pequeñas cantidades de otros átomos el material.

Para entender bien lo que ocurre a nivel atómico es necesario distinguir 3 conceptos sobre los semiconductores:

- Extrínseco tipo N: Se conocen como semiconductores de tipo N por la carga negativa de los portadores añadidos. Los portadores de carga son mayoritariamente electrones; las impurezas aceptoras (faltas de electrones con respecto al material de base) generan niveles localizados vacíos de energía, similar a la energía de valencia. Estos átomos pueden reducirse tomando electrones de la banda de valencia y aumentando la densidad de huecos (esto disminuye la concentración de electrones) (Candal, Bilmes, & Blesa, 2001). Se produce al dopar (insertar) en la estructura cristalina silícea impurezas, las cuales son elementos de 5 electrones de valencia en su orbital externo como el Fósforo, Antimonio o Arsénico. El átomo de Sb crea 4 enlaces covalentes, además le sobra un electrón que se sale de la órbita para estabilizarse. Con cada átomo de antimonio aparece un electrón libre en la estructura que aumenta la conductividad eléctrica.
- Extrínseco de tipo P: Llamados así por la carga positiva de los portadores añadidos. Las impurezas insertadas en la red silícea son elementos con 3 electrones de valencia en su orbital externo. De entre los posibles destacan el Boro, el Galio o el Indio. El átomo de Boro solo crea 3 enlaces covalentes, por lo que queda un electrón sin enlazar, apareciendo un hueco cuyo comportamiento es el de una carga positiva moviéndose por el interior de la red.
- Unión del semiconductor P con el N: Al unir ambos tipos de semiconductores se produce un efecto de difusión de electrones de la zona de mayor concentración de electrones (N) hacia la zona de baja concentración de electrones (P). Con los huecos ocurre el mismo proceso, se produce una migración desde la zona de mayor concentración de huecos (P) hacia la zona de menor concentración (N).

En ambos movimientos se produce una neutralización en la zona de unión debido a la combinación de electrones y huecos. Aparece una tensión (conocida como barrera de potencial) que impide que continúe el movimiento de cargas, ya que las cargas positivas situadas en la zona N repelen a los huecos que se aproximan de P, así como las cargas negativas de la zona P repelen a los electrones que se acercan de N.

Al exponer la zona N de la unión P-N a la radiación electromagnética, la energía fotónica se transmite a los electrones rompiendo los enlaces y quedando éstos últimos libres. La carga negativa de la zona N se incrementa, lo que implica que la diferencia de potencial también aumenta (de aquí se deduce que cuanto mayor sea la radiación, mayor será la diferencia de potencial). Si se unen directamente (sin resistencia) las zonas P y N, los electrones circulan desde la zona N hasta la P en la denominada *corriente de cortocircuito*. Si se conectara una carga, aparecerían en los extremos una diferencia de potencial proporcional a la corriente que circula, consumiendo así parte de la energía de la radiación electromagnética incidente.

Para concluir, partiendo del mismo fundamento físico del efecto fotoeléctrico, para que aparezca el efecto fotovoltaico es necesario que el material tenga la estructura molecular de la Unión P-N; además de recibir la energía suficiente para romper los enlaces covalentes de la red cristalina.

3.1.3. Célula módulo y generador fotovoltaico.

Mediante el efecto fotovoltaico se puede convertir cada célula en una pila que ofrece una diferencia de tensión de 0.5 V, pero acoplándolas en serie o en paralelo se obtiene un módulo solar fotovoltaico adaptable a los niveles de tensión y corriente requeridos.

El proceso de producción de las células solares es la parte más costosa a nivel económico en el desarrollo de un sistema fotovoltaico, dado que se fabrican mediante cristales de Silicio. Se pueden distinguir 3 tipos principales.

- Monocristalino: Estructura cristalina perfectamente ordenada. Su obtención parte de Silicio puro fundido dopado con Boro. Células voltaicas más utilizadas

por su elevado rendimiento en comparación al resto. Monocromía azulada y oscura metálica muy características. (Pareja Aparicio, 2010)

- Policristalino: Estructura ordenada por partes separadas, siendo las zonas irregulares las que disminuyen el rendimiento. La obtención es similar a la del monocristalino, pero con menor fase de cristalización. Distinguibles en superficie distintos tonos de azules y grises metálicos. (Pareja Aparicio, 2010)
- Amorfo: Alto grado de desorden y gran número de defectos estructurales en su combinación química. La ventaja de utilizar Silicio amorfo es que el material puede llegar a ser 50 veces más fino que el Silicio monocristalino, obteniendo un espesor mucho menor. La relación calidad/precio se mantiene, ya que a pesar de que su fabricación es extraordinariamente barata (se emplea poco material, y la facilidad en su fabricación industrial), el rendimiento es muy pobre en comparación con las células de Silicio monocristalino. Color homogéneo. (Pareja Aparicio, 2010)

Por otro lado, existe otro material con el que se pueden fabricar células: el arseniuro de galio (Rendimiento teórico cercano al 27-28%). El gran inconveniente de este material es que es raro y poco abundante, con tecnología poco desarrollada y costes muy elevados. (Martí Sempere, 2006)

Las células fotoeléctricas se unen entre sí en conexiones que pueden ser en serie, en paralelo o mixta, (generando de manera aproximada una diferencia de potencial de unos 0.4 V por célula) para obtener una tensión de 12 o 24 V (Roldán Vitoria, 2013). Para obtener el voltaje adecuado es necesario interconectar varias células solares, lo que da lugar a los **módulos o paneles fotovoltaicos**.

En solitario, cada célula que compone un panel fotovoltaico puede ofrecer una tensión de unos 0.5 V y una potencia eléctrica de alrededor de los 3W; aunque este valor depende del área ocupada por la célula. Por tanto, la potencia que ofrece un panel será proporcional al número de células que posea, si éste está diseñado para el suministro eléctrico en corriente continua (DC) a un determinado voltaje (12 o 24 V). Para poder formar un panel o módulo fotovoltaico, las células conectadas unas a otras se deben disponer con su correspondiente cápsula, y montada sobre una estructura soporte o marco, conformando el conocido como módulo fotovoltaico.

La función de encapsulado del módulo es igual de importante que el incremento del voltaje; pues da resistencia mecánica a las finas y delicadas células, así como protege de las inclemencias atmosféricas los frágiles contactos metálicos. La forma más utilizada a día de hoy para la correcta protección y ensamblaje es la colocación de las células entre una lámina de vidrio y otra de material plástico (EVA), con una envoltura de aluminio.

La vida útil estimada de los módulos es superior a 20 años, existiendo instalaciones con módulos de más de 30 años sin ninguna muestra de pérdida de rendimiento significativa. La eficiencia típica de los módulos es de un 14-16% (Pareja Aparicio, 2010), pudiendo llegar al 26-28% en un sistema fotovoltaico fijo y de un 33 % en un sistema con seguimiento solar (Pelayo López, Luna Soto, Bernabe Ramos, & Guzmán Flores, 2018), debido a 2 razones:

1. No toda el área ocupada por el módulo se encuentra cubierta por células solares.
2. Existen ligeras pérdidas eléctricas debidas a la asociación en serie.

El **generador fotovoltaico** es el sistema completo formado por el conjunto de módulos interconectados en serie y/o paralelo según convenga.

3.1.4. Parámetros de funcionamiento de la célula y el módulo fotovoltaico.

Una vez se conecta la célula solar a una carga y la célula está iluminada se produce una diferencia de potencial en extremos de la carga y circula corriente a través de ella. La corriente entregada a la carga (I) por una célula solar es resultado neto de dos componentes internos opuestos de corriente:

- Corriente de iluminación (I_j): generada por los portadores luminosos.
- Corriente de oscuridad (I_D): Generada por la recombinación de portadores que producen el voltaje externo para poder transmitir energía a la carga

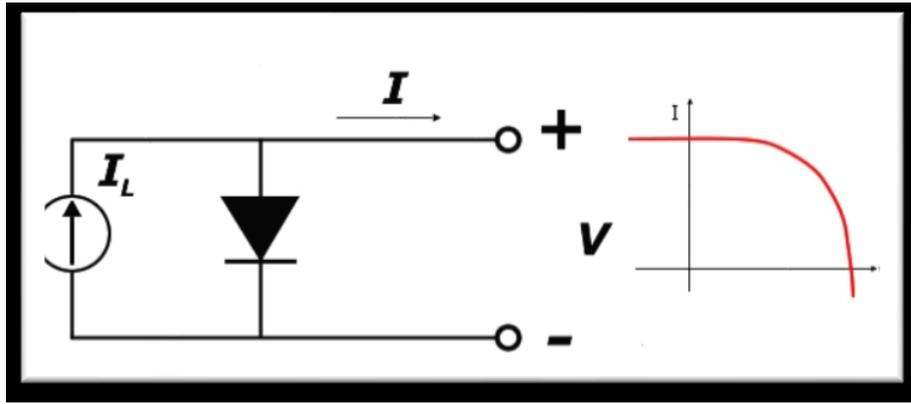


Figura 6: Circuito equivalente a módulo solar ideal

Eléctricamente, esto equivale a la siguiente expresión:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \frac{eV}{KTC} - 1 \right]$$

Las células solares fotovoltaicas se pueden identificar eléctricamente por su curva I-V, la cual representa pares de valores de tensión e intensidad en los que puede operar la célula.



Figura 7.- Circuito equivalente a célula solar real

En cada punto de la curva I-V, el producto de la corriente y el voltaje representa la potencia de salida de las condiciones de operación. La potencia máxima en condiciones estándar de medida (1000 W/m² y 25°C) es conocida como la potencia pico de la célula (PMP).

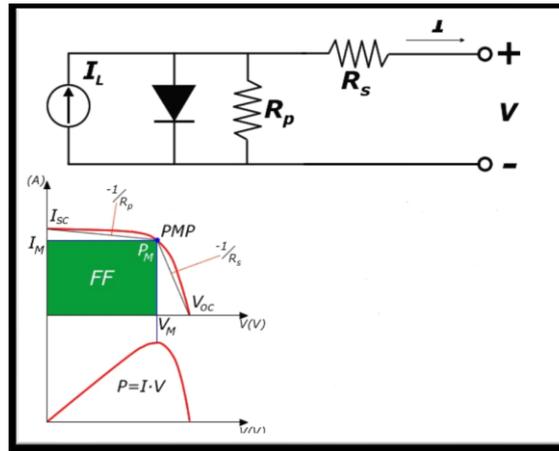


Figura 8.- (Superior) Circuito equivalente a célula solar real (Inferior) Curva característica I-V para una célula solar real

Las células solares tienen una resistencia en serie y una resistencia en paralelo asociadas que reducen el factor de forma. La resistencia serie (R_s) debida a la resistencia del volumen del material, interacciones y resistencia entre contactos metálicos y el semiconductor. La resistencia en paralelo (R_p) se produce por la no idealidad de la unión p-n y a las impurezas cerca de la unión. Con la presencia de ambas resistencias (serie y paralelo), la curva IV de una célula solar viene dada por la siguiente ecuación:

$$I = I_{SC} \cdot \left(1 - e^{-\frac{e(V_{OC}-V)}{m \cdot K \cdot T}} \right)$$

ISC: corriente cortocircuito; **VOC:** tensión circuito abierto; **IM:** corriente de máxima potencia; **VM:** tensión de máxima potencia; **PM:** potencia máxima ($I_m \cdot V_m$); **e:** carga de electrones ($1,602 \times 10^{-19}$ C); **m:** parámetro constructivo de la célula, normalmente igual a 1; **K:** constante de Boltzman; **T:** temperatura de la célula en grados Kelvin.

3.1.5. Factores que afectan a la curva IV

Las condiciones en las que se prueban normalmente las prestaciones de los paneles solares son conocidas como Condiciones Estándar de Medida (CEM) de irradiancia y temperatura, siendo las mismas: Irradiancia solar: 1.000 W/m^2 , distribución espectral: AM 1,5 G y temperatura de célula: $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Sin embargo, las condiciones reales en las que se emplean los módulos difícilmente son similares a las condiciones normalizadas, por lo que es necesario aplicar coeficientes correctores para realizar los cálculos.

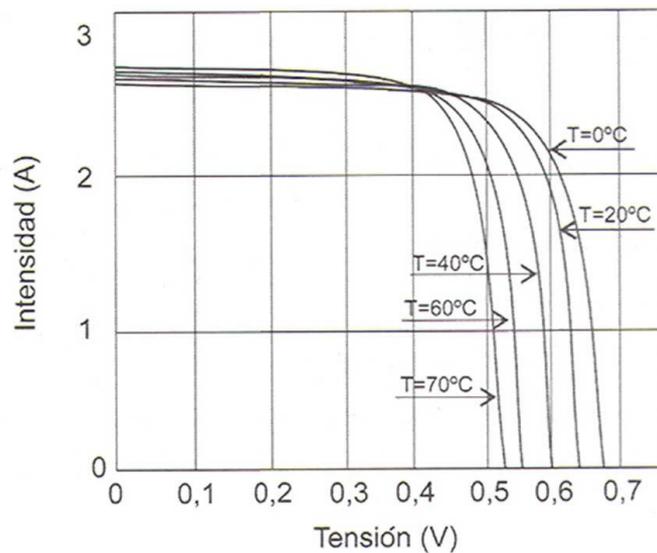


Figura 9.- Dependencia de las Curvas I-V con respecto a la temperatura en un módulo solar.

Las curvas características de intensidad tensión (I-V) que delimitan la conducta de un módulo, se observa que el valor de corriente aumenta conforme la intensidad de radiación solar, al contrario que la tensión, que disminuye conforme aumenta la temperatura en las células del módulo (dicha temperatura no es equivalente a la temperatura ambiente, ya que es la temperatura del panel fotovoltaico).

3.1.6. Sistemas fotovoltaicos.

La potencia de los paneles fotovoltaicos oscila entre 10W y 500W. No obstante, existe un gran número de aplicaciones que requieren mayores potencias que hacen necesario tener que conectar varios de estos paneles para poder satisfacer las necesidades de la instalación. Si se diera el habitual caso de que los requerimientos energéticos se mantuvieran durante 24h diarias, se hace indispensable el desarrollo de un sistema que pueda abastecer el suministro eléctrico de manera ininterrumpida. En función de la situación, las instalaciones fotovoltaicas se pueden clasificar en 2 categorías genéricas:

- Sistemas aislados de la red eléctrica.

La energía eléctrica generada se consume en pequeñas conexiones situadas en las cercanías de la instalación, si no en su propia localización. Entre las principales aplicaciones se encuentran: abastecer con energía eléctrica las viviendas alejadas de la red eléctrica, aplicaciones agrícolas y ganaderas y señalización e iluminación pública de

calles. En el caso de que no se consuma toda la energía producida, ésta debe almacenarse en baterías.

- Sistemas conectados a la red eléctrica.

De la misma manera que en los sistemas aislados la energía eléctrica se consume prácticamente al instante, en los sistemas conectados la energía que se genera se vierte a la red eléctrica de distribución, por lo que se encuentra disponible para cualquier usuario conectado a la misma. La principal ventaja de este tipo de instalaciones es lo simple del sistema, ya que se prescinde de las baterías que almacenan energía, que tienden a ser la parte que entraña mayor dificultad y coste de la instalación. Entre los componentes de este tipo de instalación, encontramos el generador fotovoltaico, el inversor, las protecciones y los contadores. Para que la conexión a la red sea posible, la energía producida debe poseer las mismas características que la que circula por la red, además de cumplir ciertos requisitos de seguridad para evitar daños en la red. Dado que los módulos fotovoltaicos generan corriente y tensión continua, es necesario convertirla en corriente y tensión alterna (las que se encuentran en el flujo de la red) mediante un inversor se produce esta conversión, de la misma manera que vigila que la tensión y la frecuencia se mantengan en los márgenes legislativos. Además del inversor, es necesario un equipo que desconecte la instalación en caso de no detectar tensión en la red, detectar pérdida de aislamiento, o cualquier otro fallo funcional. Aparte de los vigilantes de tensión y frecuencia, los vigilantes de tensión y frecuencia, es posible adquirir la protección de diferenciales u magnetotérmicos; siendo los primeros los encargados de proteger contra contactos directos, y los segundos los encargados de proteger el sistema contra sobrecargas (evitan que se dañe algún equipo o el cableado). Por último, los contadores (uno de entrada y otro de salida) se encargan de cuantificar la energía que se ha vertido a la red y la que ha consumido la instalación, en orden de facturar a la compañía la energía real vertida a la red.

Por si fuera poco, aparte de la maximización de la energía generada, hay que tener en cuenta aspectos como la integración arquitectónico-paisajística, las posibles pérdidas producidas por el sombreado, calidad y seguridad de la energía producida y ausencia de efectos perniciosos en la red eléctrica.

3.1.7. Estructura soporte.

Puesto que los paneles tienen que estar expuestos a la luz solar, la estructura debe estar preparada para pasar varios años a la intemperie. Es conveniente que la estructura tenga una inclinación determinada, la cual viene definida por la cantidad de energía necesaria; puesto que la cantidad de energía recogida es proporcional a la captación de la misma, la cual, a su vez depende del área de placa que esté expuesta, la irradiancia solar y el tiempo de exposición. Para obtener esta máxima cantidad de energía es necesario orientar los paneles solares al Sur y tener un cierto ángulo con respecto al suelo (depende de la latitud y la estación). Para comprenderlo mejor: si los paneles se orientan más horizontalmente, en verano se maximizará la captación de energía y en invierno el rendimiento se reducirá de manera proporcional. Puede darse el caso de renunciar al máximo rendimiento anual en deferencia a obtener mayor energía en períodos más cortos de tiempo.

3.1.8. Inversor

El inversor es un equipo que permite convertir la corriente continua en alterna al tiempo que ajustan el voltaje y la frecuencia (para verter a la red, es necesario que la corriente alterna se encuentra a 220 V y 50 Hz). La capacidad de los inversores está en la capacidad de igualar la forma sinusoidal de la onda de corriente alterna, garantizando el mantenimiento de la frecuencia y el voltaje dentro de ciertos límites. Para las instalaciones aisladas no es preciso que sean especialmente complejos, sin embargo, es pertinente recalcar el hecho de que en sistemas conectados la electricidad que se vierte a la red debe estar en las mismas condiciones en las que vierten las centrales al uso.

3.1.9. Dispensador o Contador

El dispensador es el dispositivo que permite la facturación de la energía que se vierte a la red, al igual que el consumo individual de la red.

3.2. Antecedentes y estudio del terreno.

3.2.1. Localización y entorno del campus.

El emplazamiento de la posible instalación se localiza en la ciudad de Elche, en la zona norte, al sur de Alicante en la provincia del mismo nombre. Dicha provincia se encuentra al sudeste de la península ibérica, muy próxima al mar Mediterráneo, por lo que la climatología es la típica mediterránea (caracterizada por inviernos húmedos y

veranos secos, siendo la mayor parte del año árido y con una variación térmica moderada). Las coordenadas en las que se encuentra son: 38º 15' 43" N y 0º 42' 3" O a una altura de 86 m.s.n.m.

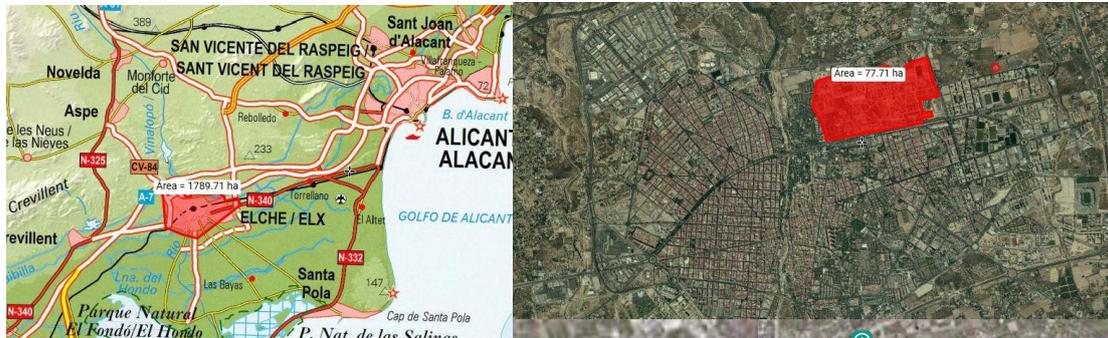


Figura 10: (Derecha) Elche en la provincia de Alicante (Izquierda) Campus UMH en Elche. (Iberpix)

3.2.2. Datos generales del campus.

La Universidad Miguel Hernández toma el nombre del poeta alicantino del pasado siglo, conocido por sus ideas republicanas contrarias al régimen franquista, al que apresaron y falleció en la cárcel.

Actualmente la Universidad Miguel Hernández cuenta con varios campus universitarios situados en Salesas (Facultad de Bellas Artes), San Juan de Alicante (Facultad de Farmacia y Facultad de Medicina), Orihuela (Facultad de Ciencias Sociales y Jurídicas de Orihuela y Escuela Politécnica Superior de Orihuela) y Elche (Facultad de Ciencias Experimentales, Facultad de Ciencias Sociales y Jurídicas de Elche, Facultad de Ciencias Sociosanitarias, y Escuela Politécnica Superior de Elche); siendo este último en el que se plantea la instalación. Dicho campus cuenta con un total de 8.302 estudiantes, 579 docentes en un total de 28 edificios.

3.2.3. Análisis de las necesidades energéticas de la compañía.

El conocimiento del consumo energético del campus es vital para la correcta realización de este proyecto, por lo que los datos deben ser lo más precisos posibles, (en este caso, facilitados por el Vicerrectorado de Infraestructuras).

CONSUMO ACTUAL DEL CAMPUS DE ELCHE DE LA UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ (kWh)		
CAMPUS ELCHE	Mayo 2017 - Mayo 2018 (ambos inclusive)	11.089.310
Rectorado y Consejo Social	Mayo 2017 - Mayo 2018 (ambos inclusive)	624.102
Energía total consumida		11.713.412

Tabla 1.- Consumo del Campus de Elche de la UMH desde Mayo de 2017 hasta Mayo de 2018 en kWh.

El objetivo principal del proyecto es el de comprobar la viabilidad de una instalación solar fotovoltaica que suministre energía para suplir en lo posible el consumo eléctrico de la UMH. Tras un análisis de las facturas de la UMH, se aprecia que hay una diferencia significativa en cuanto a la potencia consumida con respecto a la potencia contratada, ya que la misma es de 451 kW y 3800 kW para el Edificio de Rectorado y Consejo Social y el resto del Campus respectivamente, y sin embargo la potencia contratada empleada, equivale a 250 kW y 2600 kW. Dicho exceso en la potencia contratada se atribuye a que cuando se realizó la contrata con la empresa distribuidora, se estimó que en un futuro podrían necesitarse una mayor cantidad de potencia, por lo que, para mantener el derecho de acceso a la nombrada potencia, la UMH debe pagar por la potencia contratada en primera instancia.

CONSUMO ACTUAL DEL CAMPUS DE ELCHE DE LA UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ (€)		
CAMPUS ELCHE	Mayo 2017 - Mayo 2018 (ambos inclusive)	1.382.111
Rectorado y Consejo Social	Mayo 2017 - Mayo 2018 (ambos inclusive)	103.400
Coste total con IVA		1.485.511

Tabla 2.- Consumo del Campus de Elche de la UMH desde Mayo de 2017 hasta Mayo de 2018 en €

Por tanto, los objetivos finales del proyecto se resumen en:

- Comprobar si es viable económica y energéticamente la construcción de una instalación fotovoltaica para el autoconsumo de la universidad.
- En caso de serlo, proveer energía a los edificios de la universidad con el fin de reducir en lo posible la factura eléctrica.
- Rentabilizar y/o almacenar el excedente eléctrico reinyectándolo a la red o almacenándolo en baterías para su posterior consumo.

3.2.4. Ubicación de la instalación

Tras examinar los mapas de la universidad, se ha comprobado que la mejor ubicación para la instalación es en los aparcamientos contiguos al edificio Torreblanca. Así mismo cabe resaltar que dicha instalación aumentaría el valor de dichos aparcamientos, ya que ofrecerían sombra a los vehículos allí estacionados. Queda la posibilidad de, una vez visto que el proyecto es lo suficientemente rentable como para plantear una ampliación, emplear el mismo esquema de trabajo para convertir el resto de los aparcamientos de la universidad en instalaciones fotovoltaicas. En las siguientes figuras se pueden observar las localizaciones de las posibles instalaciones. También cabe plantearse la posibilidad de instalar “fotolineras”, ya que se presupone que en un futuro el número de coches eléctricos aumentará.



Figura 11: Aparcamiento grande del proyecto



Figura 12: Aparcamiento pequeño del proyecto

El terreno sobre el que se desarrolla la instalación posee una superficie útil total para el aprovechamiento de 5051 m² (1728 m² el aparcamiento pequeño y 3323 m² el aparcamiento grande, ya que se ha contado únicamente la superficie ocupada por las plazas de aparcamiento, dado que el resto de superficie se emplea para el movimiento de vehículos). Dicho terreno se considera idóneo ya que se trata de dos grandes espacios en los que se registra muy poca cantidad de sombra debido a la ausencia de obstáculos de gran tamaño en sus proximidades, lo que se traduce como una minimización en las pérdidas por sombreado, aparte, las construcciones pueden orientarse con facilidad hacia el sur.

Ya determinados los parámetros geométricos de los obstáculos (los propios módulos inclusive), se debe determinar la orientación e inclinación de los módulos. La orientación más adecuada es al sur, para un incremento en el aprovechamiento solar, al estar la instalación en el hemisferio norte. En cuanto a la inclinación, lo ideal es que sea de 38 ° con respecto a la horizontal, al igual que la latitud a la que se encuentra para maximizar la producción a nivel anual, sin embargo, dicho ángulo queda determinado por la estructura en la que descansa el panel que es actualmente de 12 °, para evitar los daños producidos por el viento.

3.3. Legislación y coyuntura actual.

Según los datos disponibles España (IDAE 2016) posee una fuerte dependencia en cuanto a la generación de energía primaria de otros países, ya que, como se deduce de la siguiente figura, la mayoría de la materia prima es importada de otros países (99% de petróleo, el 99% del gas, parte del carbón y el 100% del uranio).

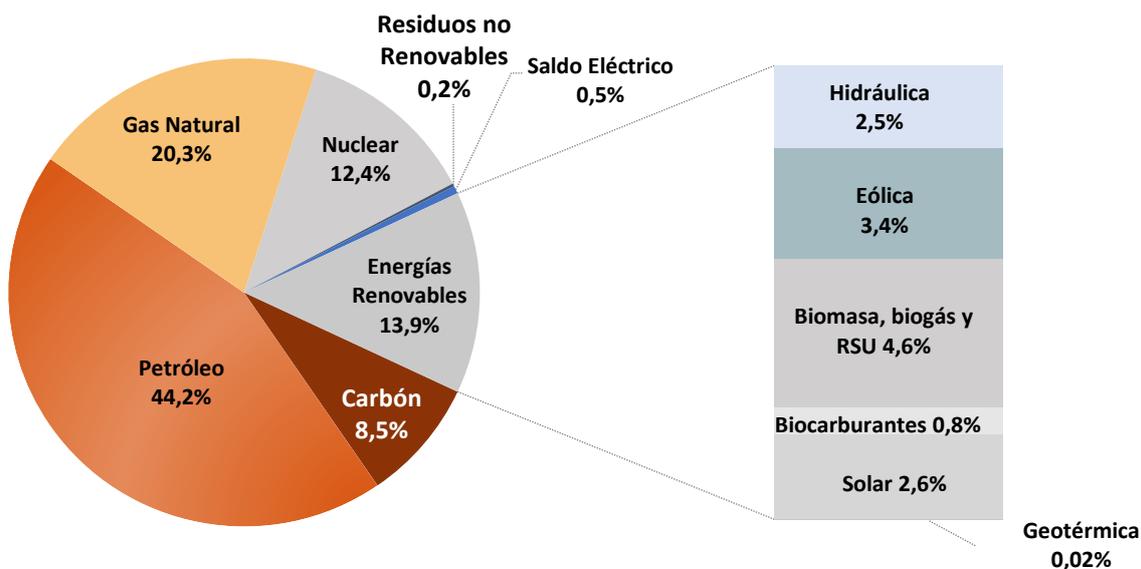


Figura 13: Representación de las fuentes energéticas de España en 2018 (Cortesía de IDAE)

Cabe destacar que, de la misma manera que España mantiene una gran dependencia en la importación de materia prima en la generación de energía no renovable, su independencia con respecto a las energías renovables es radicalmente distinta, ya que muestra una gran independencia. Dicho esto, y como queda evidenciado en la figura anterior, las energías renovables ocupan un percentil muy bajo en tanto a la producción de energía, lo que implica un peligro a la situación económica y social.

La parte positiva de la actual situación es que gracias a la gravedad de ésta se han activado dos respuestas muy positivas con una muy elevada capacidad de transformación del contexto internacional. La primera toma cuerpo en la firma del Acuerdo de París, cuyo diseño sienta unas bases sólidas desde las que avanzar hacia la descarbonización del sistema en los siguientes años. La segunda se manifiesta en que la transición energética es una realidad factible, tomando como ejemplo el actual nombre del Ministerio para la Transición Ecológica, antes conocido como Ministerio de Medio Ambiente.

En el ámbito internacional, cabe destacar que la Unión Europea ha elaborado una trayectoria de descarbonización para el año 2050 y en esa dirección ha aprobado objetivos de obligado cumplimiento para el año 2030, así como la estrategia 20 20 20,

en la que para el 2020 se debe aumentar la eficiencia energética un 20%, aumentar el uso de energías renovables un 20 % y reducir las emisiones de CO₂ un 20%.

En los Acuerdos de París se formuló que uno de los objetivos centrales es el de la reducción de un 90% de las emisiones para 2050 tomando como referencia las emitidas en 1990. Así mismo el objetivo principal es el de mantener el aumento de temperatura media mundial por debajo de los 2°C sobre los niveles preindustriales, limitar el aumento a 1.5°C y que las emisiones alcancen su techo en la menor cantidad de tiempo posible.

La legislación empleada en este proyecto es la normativa actualmente vigente, siendo posible que pueda cambiar en los próximos meses.

Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico (texto consolidado). BOE nº 310 de 27 de diciembre de 2013.

Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. BOE nº 242 de 6 de octubre de 2018.

Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. BOE nº 423 de 10 de octubre de 2015.

Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. BOE nº 83 de 6 de abril de 2019

Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (texto consolidado). BOE nº 310 de 27 de diciembre de 2000.

Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. BOE nº 3295 de 8 de diciembre de 2011.

RESOLUCIÓN de 3 de mayo de 2018, de la Presidencia del Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE), por la que se convocan ayudas destinadas al fomento de instalaciones de autoconsumo de energía eléctrica, con cargo al Fondo de Promoción previsto en el marco del Plan Eólico de la Comunitat Valenciana, para el primer semestre del 2018. (IVACE, 2018)

Real Decreto 222/2008, de 15 de febrero, por el que se establece el régimen retributivo de la actividad de distribución de energía eléctrica. BOE nº 67 de 18 de marzo de 2008.

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión (texto consolidado). BOE nº 224 de 18 de septiembre de 2002.

Real Decreto 359/2017, de 31 de marzo, por el que se establece una convocatoria para el otorgamiento del régimen retributivo específico a nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables en el sistema eléctrico peninsular.

Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. BOE nº 139 de 9 de junio de 2014.

Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico (texto consolidado). BOE nº 224 de 18 de septiembre de 2007.

Real Decreto Legislativo 2/2004 de 5 de marzo por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales. BOE nº 59 de 9 de marzo de 2004.

Directiva 2009/28/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables de materia de renovables para el 2020, tanto desde el punto de vista medioambiental como desde el punto de vista económico. (BOE), 2018)

4. Cálculos de la instalación.

La intención de este proyecto es la de dimensionar una instalación fotovoltaica conectada a la red para el autoconsumo eléctrico de los edificios del campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández, para la cual contamos con los datos de consumo y potencia contratada de los mismos facilitados por la propia entidad. Para el desarrollo de este proyecto se ha utilizado el programa PVSyst en la versión 6.8.2, dicho programa, empezado a desarrollar en 1992 por los suizos André Mermoud y Michel Villoz, y que cuenta con un gran prestigio internacional en el análisis de instalaciones fotovoltaicas.

4.1. Demanda energética.

Tal y como se menciona en el apartado 3.2.3. la energía consumida por la UMH asciende a 11.713.412 kWh, los cuales se representan en la siguiente tabla junto con las potencias contratadas, las potencias consumidas y el coste de la electricidad en el período de Mayo de 2017 a Mayo de 2018.

	Potencia contratada (kW)	Potencia utilizada (kW)	Energía consumida (kWh)	Coste (€)
CAMPUS ELCHE (UMH)	3800	2600	11.089.310	1.382.111
Rectorado y Consejo Social (UMH)	451	250	624.102	103.400
Total	4251	2850	11.713.412	1.485.511

Tabla 3.- Comparación de Potencias (contratadas y reales), Consumos y Coste del Campus de Elche de Mayo de 2017 a Mayo de 2018

Como se puede apreciar, el total de las potencias contratadas supera los 100 kW de potencia nominal que delimitan el rango de autoconsumo de la instalación tipo 1 según el RD 900/2015 (delimita las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y producción), por lo que el dimensionado de la instalación pasa a ser de tipo 2, los cuales no tienen ningún

límite para la potencia contratada en el suministro, y permite la venta de excedentes con remuneración.

4.2. Dimensionado de la instalación fotovoltaica.

4.2.1. Determinación de la inclinación óptima.

La orientación e inclinación de los paneles solares es muy importante debido a que, con la orientación adecuada los paneles solares obtienen su máximo beneficio.

El primer paso es la orientación hacia el Sur, ya que, al estar en el hemisferio norte, la dirección que sigue el Sol es Este-Sureste-Sur- Suroeste-Oeste (Figura 14). El segundo paso es inclinar los paneles a igual latitud a la que se encuentra el terreno donde se va a instalar, en este caso, Elche se encuentra a 38° , sin embargo, debido a las condiciones particulares de este proyecto, debe contemplarse una inclinación de 12° . (Figura 16)

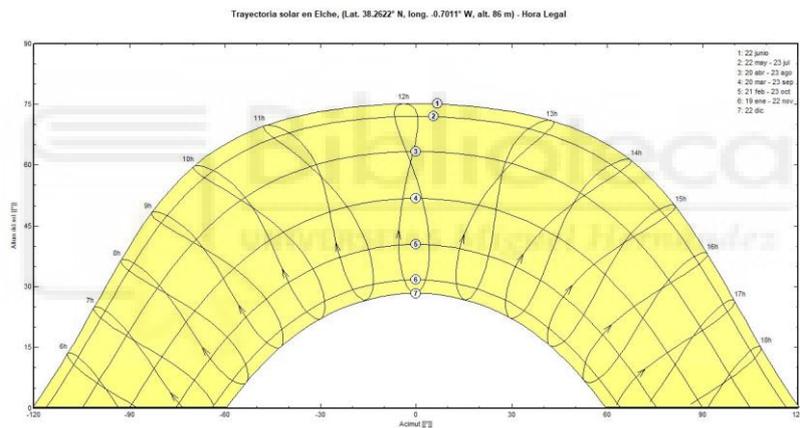


Figura 14: Trayectoria Solar según PVSyst

Figura 15: Optimización de la inclinación y acimut de las placas (38°) (PVSyst)

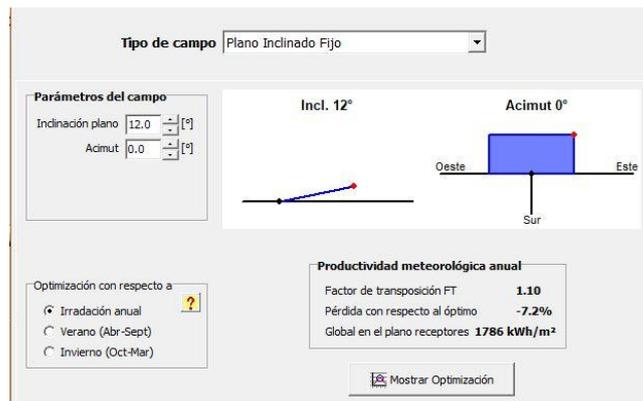


Figura 16: Optimización de la inclinación y acimut de las placas (12º) (PVsyst)

Como se muestra en las figuras 15 y 16, la optimización del ángulo que debe tener la placa es de 38º, sin embargo, ya que se trata de una estructura muy expuesta a las inclemencias meteorológicas, se ha considerado de mayor importancia restar eficiencia a la estructura para garantizar su durabilidad.

4.2.2. Sombras cercanas.

Como se ha comentado en el apartado 3.2.4., las pérdidas por sombra quedan reducidas debido a la ausencia de edificios de gran altura en sus proximidades. El único edificio próximo es el edificio Torreblanca, no obstante, debido a las no muy extensas dimensiones de este, la sombra generada se puede considerar nimia, y sólo afecta por la tarde, por lo que las pérdidas por sombreado son mínimas.

4.3. Elección del módulo fotovoltaico.

La elección del módulo fotovoltaico debe de estar condicionada por varios criterios, de entre los cuales deben cumplir los siguientes requisitos para la elección:

- El factor limitante que determina la selección del panel es el número de paneles máximo que es posible instalar en el solar en función de la superficie útil disponible. En este caso se disponen de dos superficies disponibles para la instalación de módulos de 1728 y 3323 m².
- El número de paneles es de 3080 aproximadamente (estimación realizada con el programa PVsyst), cuya disposición sería de 14 módulos en serie y 220 en paralelo. La potencia adquirida con los paneles depende del modelo y la marca, pero se estima producir una potencia de nominal cercana a los 847 kWp,

utilizando módulos de 325 Wp, sin embargo, cabe recordar que puede aumentar si se escogen modelos con mayor eficiencia.

- El factor tecnológico es realmente importante en la elección del módulo, debido a que representa una inversión muy elevada, resulta indispensable que el panel fotovoltaico mantenga una elevada ratio de eficiencia a lo largo del tiempo, y una larga vida útil. De los diferentes módulos que se han comprobado para llevar a cabo el proyecto, se ha verificado que todos garantizan una vida útil hasta los 25 años, y su eficiencia para esa fecha es superior al 80% en todos los casos.

Acabadas ya las exigencias técnicas para la elección del módulo, la elección de éste se realizará por la empresa que realiza la instalación de la estructura de soporte. Dicha designación se debe a que, al no ser las condiciones normales de una instalación fotovoltaica, la preferencia de la célula no puede recaer en cual es más barata, la relación calidad precio, o la mejor del mercado, ya que, si no se adapta a la estructura sobre la que se va a instalar, no se puede llevar a cabo el proyecto.

Características del módulo:

JKM325PP-72(Plus)	
Potencia nominal	325 W
Tensión punto máxima potencia	37,6 V
Tensión en circuito abierto	46,7 V
Corriente en el punto máxima potencia	8,66 A
Corriente de cortocircuito	9,10 A
Coefficiente de rendimiento del módulo	16,75%
Tensión del sistema máxima admisible	1000 V
Corriente inversa máxima	15 A
Rango de temperaturas	-40°C -- +85°C
Tipo de celda	Policristalino 156x156 mm
Número de celdas	72 (6*12)
Dimensiones	1956*992*40 mm
Peso	26,5 kg

Tabla 4.- Características del módulo fotovoltaico

El presente módulo está compuesto por 72 células de silicio policristalino con dimensiones (156x156 mm) y un rendimiento de 16.75%. A todo esto, el fabricante garantiza una potencia del 80.7% pasados 25 años con degradación lineal.

4.4. Elección del inversor.

El inversor es el elemento encargado de convertir la corriente continua generada en el módulo en la corriente alterna de igual frecuencia que se encuentra en la red (50 Hz), así como inyectarla de forma sincronizada.

Por otro lado, también modifica los parámetros eléctricos de intensidad y tensión de los módulos para extraer la máxima potencia posible (MPP) en cada segundo. El inversor elegido es el Sunny Highpower Peak3, de Suntechnics, cuya potencia nominal es 150 kWp, pero la máxima potencia pico que puede asumir en DC es de 225kWp, necesitando un mínimo de 5 inversores para el correcto funcionamiento de la instalación. La siguiente tabla muestra las características técnicas de dicho inversor:

Sunny Highpower Peak3	
Potencia nominal	100 kW
Rango de potencia del campo FV recomendado	225 kWp
Corriente máxima	151 A
Tensión nominal	480V-690V
Frecuencia nominal	50/60 Hz
Eficiencia máxima	99,1%/98,8%
Temperatura de funcionamiento	-25°C a 60°C

Tabla 5.- Características del Inversor

4.5. Diseño de la instalación.

Una vez elegidos el panel y el inversor es posible definir la disposición que van a llevar en el proyecto, ya que tanto su inclinación como su orientación son factores determinantes en la maximización de la producción de energía. Como la finalidad de este proyecto es la de reducir en lo posible la factura energética, se aprovechará el máximo espacio posible para la instalación fotovoltaica, respetando en todo momento las zonas de tránsito de los vehículos. Según los cálculos realizados en PVSyst, el número

de módulos sería de 2601, los cuales tendrían que ir 14 en serie y 220 cadenas en paralelo. Con dicha disposición los paneles tendrían la separación entre filas de 2.8 m reglamentarios según la IDAE, y se evitarían la generación de sombras entre paneles.

4.6. Resultados de la simulación.

Tal y como se ha mencionado en los apartados anteriores, el diseño propuesto por el programa PVSyst según las características del proyecto incluiría 2601 placas fotovoltaicas de 325W, con un total de 5 inversores para toda la instalación. La simulación realizada por el programa PVSyst da como resultado la siguiente tabla:

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
Enero	71.9	24.80	11.03	92.8	88.8	71.8	70.1	0.892
Febrero	88.2	29.96	11.48	107.8	103.8	83.6	81.7	0.895
Marzo	131.7	45.88	13.12	148.7	143.7	113.1	110.5	0.877
Abril	160.5	56.70	15.11	170.9	165.5	128.5	125.6	0.867
Mayo	186.3	69.13	18.11	189.3	183.2	140.2	136.9	0.854
Junio	203.1	67.20	21.93	203.3	196.9	147.6	144.1	0.837
Julio	212.0	64.79	24.58	213.9	207.5	153.5	149.9	0.827
Agosto	186.9	58.28	25.17	196.0	190.3	141.0	137.8	0.830
Septiembre	138.9	48.60	22.68	153.2	148.1	111.8	109.2	0.841
Octubre	105.1	38.13	19.34	122.6	118.4	91.6	89.4	0.861
Noviembre	72.3	27.00	15.11	91.9	87.9	70.3	68.6	0.881
Diciembre	61.4	23.25	12.32	80.1	76.5	61.6	60.2	0.887
Año	1618.4	553.72	17.53	1770.5	1710.7	1314.7	1284.0	0.856
Legendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal			GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombr		
	DiffHor	Irradiación difusa horizontal			EArray	Energía efectiva en la salida del conjun		
	T_Amb	Temperatura Ambiente			E_Grid	Energía inyectada en la red		
	GlobInc	Global incidente plano receptor			PR	Índice de rendimiento		

Tabla 6.- Balances y resultados principales de la instalación con PVSyst

Como se puede apreciar, la cantidad de energía generada anualmente equivale a 1284.0 MWh, que se utilizarían para cubrir la demanda energética de aproximadamente una décima parte del consumo del Campus de Elche sin contar con el edificio del Rectorado y consejo social.

5. Presupuesto estimado.

Como en todo proyecto público, el estudio económico debe plantearse desde las primeras fases del mismo, siendo la relación entre el coste de la producción energética y la energía producida la máxima a seguir en todo momento. Se han realizado comparativas entre diferentes empresas para llevar a cabo la correcta ejecución del

proyecto. Posteriormente a un concienzudo análisis de las opciones marcadas por las empresas proveedoras de servicios y materiales, se evalúa el coste total de la instalación del sistema fotovoltaico. En el presente presupuesto, se clasifican los elementos por categorías, coste unitario, del conjunto y total.

En primer lugar, se tratará el generador fotovoltaico, en el que se incluyen los módulos solares y los inversores.

- El módulo solar nos lo suministraría la empresa Suministros del sol, a un precio de 148,00€ por panel, por lo que al multiplicarlo por los 2601 paneles que necesitamos obtenemos un precio total de 384.948,00 €, impuestos incluidos.
- El inversor nos lo proporcionaría la empresa SunTechnics, con un precio de 12300,00 € por inversor, por lo que, al multiplicarlo por los 5 inversores requeridos, obtenemos un precio total de 61.500 €.

Artículo	Unidad	Precio unitario (€)	Precio final (€)
Módulo fotovoltaico JINKO JKM325PP-72(Plus)	2.601	148	384.948
Inversor Serie SMA SUNNY HIGHPOWER PEAK3 100 kW	5	12.300	61.500
TOTAL			446.448

Tabla 7.- Coste generador fotovoltaico

En el caso de la estructura de soporte, la empresa que más se ajusta a nuestras necesidades es C-Solar, ya que tiene experiencia en el montaje de estructuras que permitan el uso del espacio inferior como aparcamiento. Esta parte del proyecto es particularmente especial, ya que no todas las estructuras pueden cumplir las exigencias de tener doble funcionalidad. No obstante, cabe resaltar que, al aumentar la altura a la que se sitúa la célula, y que el diseño de la estructura es distinto al usual, la célula se ve obligada a permanecer en una inclinación inferior a su ángulo óptimo de producción energética (38°) para estar a 12° sobre el suelo, ya que de aumentar este, la estructura correría peligro por las rachas de viento. El presupuesto enviado por esta empresa es de 70 €/m², por lo que al multiplicarla por los 5051 m² disponibles para la instalación,

obtenemos un total de 353570 € en total, impuestos incluidos. En dicho presupuesto se incluye el montaje de la estructura

Artículo	m²	Precio unitario (€/m²)	Precio final (€)
Estructura	5.051	70	353.570
TOTAL			353.570

Tabla 8.- Coste de la estructura de soporte

En la siguiente tabla se representan costes alternativos tales como la instalación del cableado, la toma de tierra, la caja con los interruptores y fusibles para controlar la instalación, la acometida en la que se incluye el coste de crear la zanja por la que va a pasar el cableado, los medios auxiliares (gestión de los residuos durante la obra, el precio del transporte, el alquiler de maquinaria necesaria para completar la obra) o la tramitación administrativa y las licencias de obra.

Artículo	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio final (€)
Cableado (m2)	13.838	0,80 €	11.070,4
Cajas de conexión e interruptores	1	7.815,85 €	7.815,85
Acometida	1	22.188,03 €	22.188,03
Medios auxiliares	1	23.109,09 €	23.109,09 €
Tramitación planta fotovoltaica	1	18.323,65 €	18.323,65 €
TOTAL			82.507,02

Tabla 9.- Coste de gastos adicionales

A continuación, se representa una tabla con los costes finales adscritos al generador fotovoltaico, la estructura y los costes alternativos. Como se puede comprobar, la cifra asciende a los 882.525,02€.

Artículo	Coste (€)
Generador fotovoltaico	446.448
Estructuras	353.570
Costes adicionales	82.507,02
TOTAL	882.525,02

Tabla 10.- Costes totales del proyecto

6. Viabilidad económica del proyecto.

Partiendo del presupuesto planteado en el apartado anterior, incluyendo los impuestos y tasas relativos al RD 900/2015 sobre autoconsumo eléctrico es posible analizar la viabilidad económica del proyecto presente proyecto. Para comenzar, hay que tener en cuenta que las características técnicas del proyecto se han realizado conforme a los datos facilitados por la Universidad Miguel Hernández que se muestran en la siguiente tabla.

Tecnología	Solar fotovoltaica
Modalidad de la instalación (según RD 900/2015)	Tipo 2
Potencia pico (de módulos)	225,0 kWp
Criterio de dimensionado	Minimizar periodo de retorno de la inversión
Energía producida	1.284.000 kWh/año
Energía autoconsumida	1.284.000 kWh/año
Energía vertida a red	0 kWh/año
Cobertura anual de la demanda	12%
Vida útil	30 Años
Consumo energía Campus e Elche sin edificio Rectorado	1.382.111 €/año

Tabla 11.- Características consumo instalación propuesta

Dado que el sistema diseñado no puede cubrir el 100% de la energía consumida por los edificios que componen el campus de Elche, no es posible obtener rendimiento económico de su vertido a la red ya que toda la energía producida se consumiría en el

Campus. En la siguiente tabla se representa el balance del coste de la instalación, mantenimiento, ahorro, amortización, etc., contando los impuestos y tasas en rango máximo.

Resultados económicos con la instalación de autoconsumo (incluidos impuestos elec e IVA)	
Importe de la factura eléctrica inicial (sin inst. autoconsumo)	1.382.111 €/año
Ahorro económico (bruto) instalación de autoconsumo ($P= 1284000 \text{ kWh/año} * 0,12682137 \text{ €/kWh} = 162.838,644 \text{ €/año}$)	162.838,644 €/año
Cargos por autoconsumo	14.236,99 €/año
Cargo fijo: 0 €/año (Sin incremento de potencia sobre la contratada)	
Cargo por energía autoconsumida: ($1.284.000 \text{ kWh/año} * 0,011088 \text{ €/kWh} = 14.236,99 \text{ €/año}$)	
Importe de la factura eléctrica final (con inst. autoconsumo)	1.233.509,36 €/año
Importe = $1.382.111 \text{ €/año} - 162.838,644 \text{ €/año} + 1.473,3\text{€/año} = 1.233.509,36 \text{ €/año}$	
Inversión inst. autoconsumo	882.525,02 €
Costes de mantenimiento inst. autoconsumo	1.479 €/año
Resultado económico (neto) inst. autoconsumo	147.122,65 €/año
Resultado = $162.838,644 \text{ €/año} - 14.236,99 \text{ €/año} - 1.479 \text{ €/año} = 147.122,65 \text{ €/año}$	
Periodo de retorno simple inst. autoconsumo (PRS)	6 años
$PRS = 882.525,02 \text{ €} / 147.122,65\text{€/año} = 5,998 \text{ años} = 6 \text{ años}$	
Coste energético unitario (con inst. autoconsumo)	0,10543 €/kWh
Coste unitario = $(1.382.111 \text{ €/año} - 147.122,65 \text{ €/año}) / 11.713.412 \text{ kWh/año} = 0,10543 \text{ €/kWh}$ (Incluyendo todos los conceptos, impuesto eléctrico y mantenimiento e IVA)	

Tabla 12.- Resultados económicos del proyecto

Dado que el sistema diseñado no puede cubrir el 100% de la energía consumida por los edificios que componen en base al periodo de retorno simple obtenido (inferior a 10 años), y teniendo en cuenta que la inversión sería parcialmente cubierta por un préstamo al 0 % de interés del IVACE (hasta 300.000€ a devolver en 8 años). La viabilidad del proyecto queda más que probada, manifestando el interés que supone la puesta en marcha de estos proyectos en edificios públicos e instituciones privadas.

7. Conclusiones.

Observando los resultados obtenidos, se puede concluir que: el sistema aun no siendo capaz de cubrir la demanda eléctrica completa del campus de Elche, sí que podría cubrir un porcentaje superior al 10% (recordamos que se generan 1.284.000 kWh anuales, y se consumen 11.089.310 kWh en el Campus de Elche sin contar con el edificio de Rectorado y Consejo Social), por lo que la venta de excedente energético se presenta imposible. Sin embargo, se plantea como más que posible el que producción energética del sistema pueda sostener el consumo anual de los edificios Altabix y la Galia.

Apartando el enfoque energético para centrarse únicamente en términos económicos, la factura anual de la UMH es de 1.382.111 €/año, sumando los cargos por autoconsumo de 14.236,99 €/año, y teniendo en cuenta que los cálculos apuntan a un ahorro económico bruto de 162.838,64 €/año deducimos un ahorro en la factura anual de 147.122,65 €/año.

Realizados los cálculos anteriores, obtenemos que el precio por kWh pasa a ser de 0,10543 €/kWh, más de 2 céntimos más barato que el precio impuesto por la eléctrica (0,12682137 €/kWh), por lo que podemos concluir que tanto social como ambientalmente el proyecto resulta más que viable.

Al margen de los beneficios económicos que acompaña el uso e implementación de este tipo de energías, también porta consigo beneficios educativos, económicos y sociales, los cuales no hacen sino mejorar la imagen que se percibe a nivel social de una Universidad. No obstante, el coste de mantenimiento permanente de los sistemas fotovoltaicos y demás modalidades requiere una inversión anual, elevada, siendo el caso de la universidad de 1.479 euros anuales. Por lo que resulta imprescindible una legislación capaz de mantenerse en el tiempo sin demasiados cambios.

En el caso de este proyecto, el período de amortización es de 6 años aproximadamente, por lo que, si se tiene en cuenta que la vida útil de esta tecnología está garantizada por los próximos 25 años, se llega a la conclusión de que es una inversión muy rentable.

Así pues, dado que las excelentes condiciones geográficas y climáticas, resulta obvio pensar en aprovechar el resto de las superficies disponibles del resto de aparcamientos que existen en la UMH para intentar cubrir el máximo de la factura eléctrica de la misma,

sin embargo, se considera necesario el realizar una primera instalación para comprobar si su puesta en práctica es viable para el resto de la comunidad universitaria.

Respecto al aspecto medioambiental, la energía solar fotovoltaica es uno de los principales pilares para el cambio de modelo energético a uno descarbonizado, siendo el sureste español una de las mejores zonas de Europa para su aprovechamiento debido al elevado número de horas de Sol que disponemos y las escasas granizadas y heladas. Por otro lado, también se espera que, con el aumento de la demanda en energías limpias, aumente su producción y eficiencia, por lo que es de esperar que en el futuro la fabricación de este tipo de tecnologías reduzca los costes asociados y con ello sea más asequible. Dicho esto, es inapelable que con esta instalación la UMH reduciría su huella de carbono al producir más de un 10% su demanda energética, evitando así la emisión de cerca de 475.080 t CO₂ anuales.

Finalmente se demuestra que el autoconsumo es una alternativa no solo a nivel técnico, sino económicamente viable y necesaria, al existir tecnología necesaria para aprovechar las grandes cantidades de energía que se reciben del Sol para satisfacer la demanda eléctrica total o parcialmente. En el caso de España, la escasez de esta tecnología en el aprovechamiento energético llega a niveles casi sangrantes, dado que nuestra producción energética se basa en la quema de combustibles en las centrales térmicas (principalmente de hidrocarburos), habiendo una ausencia de los mismos casi total en el territorio nacional, lo que implica una dependencia de los países productores de dicha materia prima de forma incondicional.

8. Bibliografía.

ADRASE. (s.f.). adrase. Obtenido de <http://www.adrase.com/>

(BOE), (2019). boe. Obtenido de <https://www.boe.es/legislacion/legislacion.php>

Castro Gil, M., Carpio Ibáñez, J., Guirado Torres, R., Colmenar Santos, A., & Dávila Gómez, L. (2000). Energía Solar Fotovoltaica. Sevilla: Progensa.

Candal, R. J., Bilmes, S. A., & Blesa, M. A. (2001). Semiconductores con actividad fotocatalítica. Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea. (M. Blesa, Ed.)

Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., & Warta, W. (2010). Tablas de eficiencia de celdas solares (versión 36). Progreso en energía fotovoltaica: investigación y aplicaciones. Wiley InterScience ,346.

IDEA. (2019). Obtenido de <https://www.idae.es/>

Informe sobre energía y sostenibilidad en España 2016. (2016). Universidad Pontificia de Comillas.

IVACE. (2018). ivace. Obtenido de <http://energia.ivace.es/>

Martí Sempere, C. (2006). Tecnología de la defensa. Análisis de la situación española. Madrid.

Pareja Aparicio, M. (2010). Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada. Barcelona: MARCOMBO, S.A.

Pelayo López, J. A., Luna Soto, A., Bernabe Ramos, F., & Guzmán Flores, B. (2018). Comparativa de la eficiencia entre un sistema fotovoltaico con seguimiento solar y un sistema fotovoltaico fijo. Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias.

Rodríguez Quirant, A. (2017). Instalación solar fotovoltaica para el autoabastecimiento eléctrico en la pedanía de Las Bayas, Elche. Trabajo de fin de grado. UMH.

Roldán Vilorio, J. (2013). Energías renovables. Lo que hay que saber. Ediciones Paraninfo, S.A.

Sacristán Benito, S. (2014). Instalación solar fotovoltaica- 20 kW para conexión a red. Trabajo fin de grado. Soria.

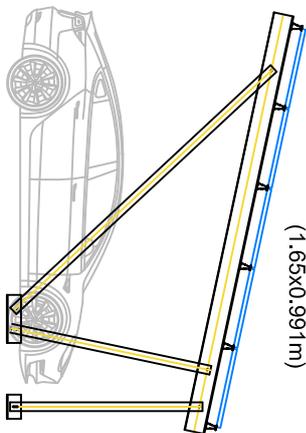
Sancho Ávila, J. M., Riesco Martín, J., Jiménez Alonso, C., Sánchez de Cos Escuin, M. C., Montero Cadalso, J., & Lopez Bartolomé, M. (2012). Agencia Estatal de Meteorología-AEMET. Obtenido de Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT.

Santamarta, J. (2004). Las energías renovables son el futuro. World Watch

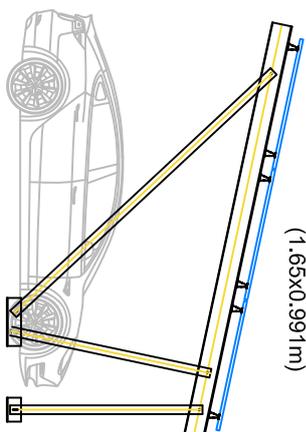
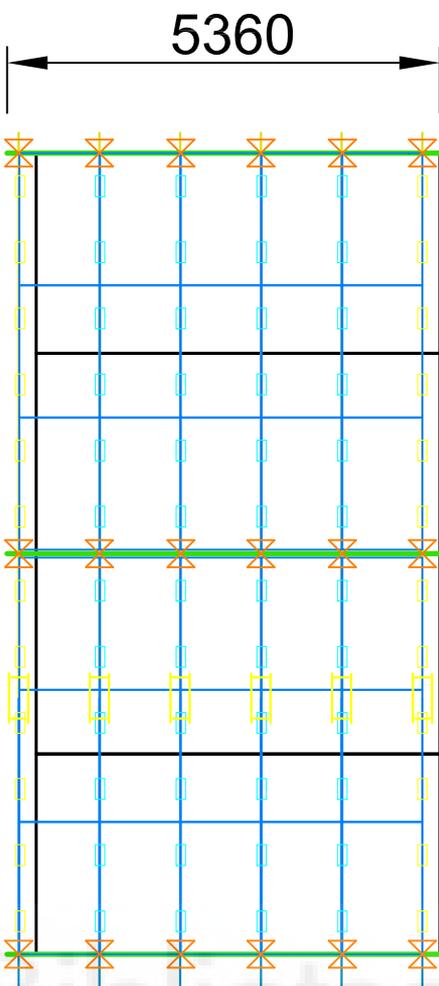
Tommasino, H., Foladori, G., & Taks, J. (2006). ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable. Universidad Autónoma de Zacatecas. Capítulo 1: La crisis ambiental contemporánea, 17.

9. ANEXOS.

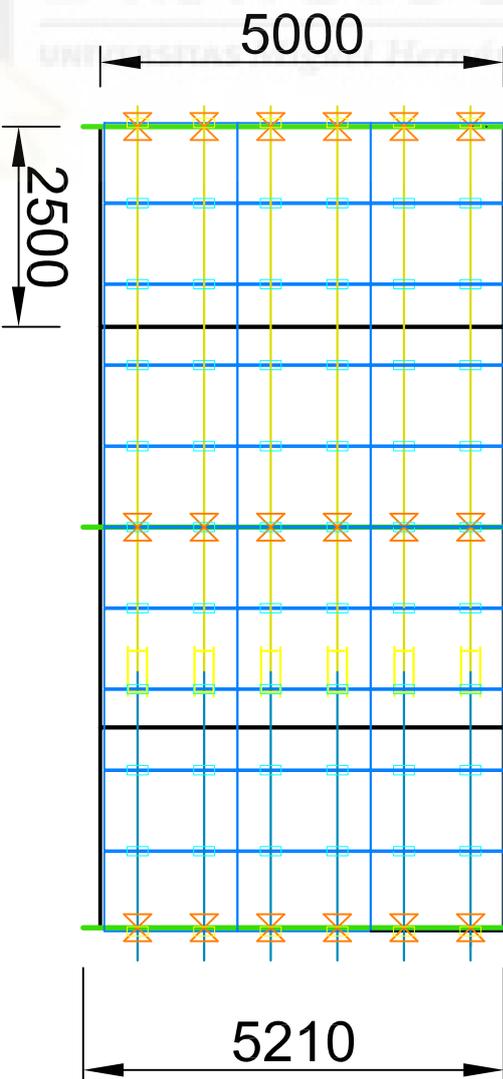




30 paneles en horizontal
(1.65x0.991m)



30 paneles en vertical
(1.65x0.991m)



LEYENDA	
	DESCRIPCIÓN
	PANEL FV
	CPCS-400
	CC1.5-40-CP
	FHq
	Zapata
	BE50
	BI50
	CSCarport IV
	CSCarport W
	PCSA.5-3600
	PCSA.5-5200
	PCSA.5-7060
	PCSA.5-10400

JKM325PP-72(Plus) 310-325 Vatios

MÓDULO POLICRISTALINO

Tolerancia positiva 0/+3%

Fábrica con certificación ISO9001:2008,
ISO14001:2004,OHSAS18001
Productos con certificación IEC61215, IEC61730



Plus



Principales características



Potencia Elevada:

Los módulos de 72 células policristalinos alcanzan potencias de hasta 325Wp.



Garantía Anti-Degradación Potencial Inducida (PID):

Se garantiza una degradación limitada de la potencia del módulo Eagle causada por la Degradación Potencial Inducida (PID por sus siglas en inglés) bajo condiciones de 60°C/85% de humedad relativa para la producción en masa..



Rendimiento con baja irradiación lumínica:

El avanzado cristal y el texturizado de la superficie de la célula fotovoltaica permiten un resultado excelente en condiciones de baja irradiación lumínica.



Resistencia en condiciones climatológicas adversas:

Certificado para soportar rachas de viento (2.400 Pascal) y cargas de nieve (5.400 Pascal).



Resistencia en condiciones ambientales extremas:

Alta resistencia a la brisa marina y al amoníaco, certificado por TÜV NORD.



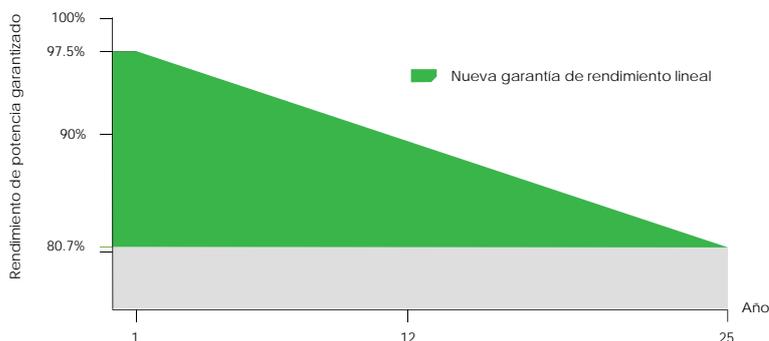
Coefficiente de Temperatura:

El coeficiente de temperatura mejorado reduce la pérdida de potencia en altas temperaturas.

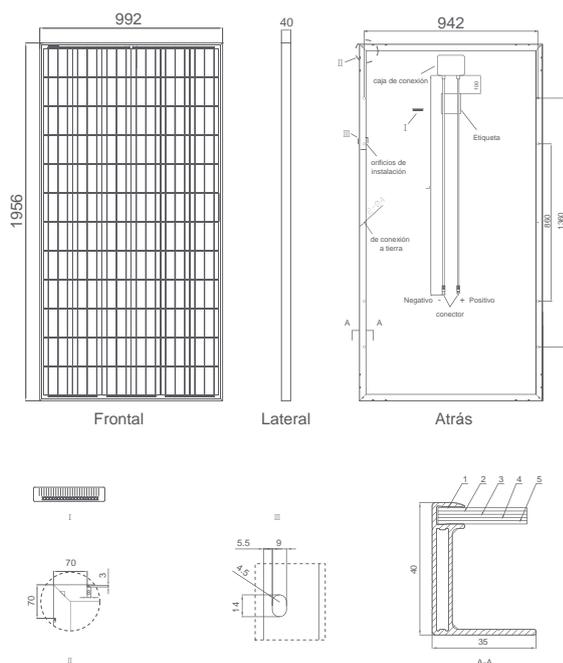


GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

10 Años de garantía de producto • 25 Años de garantía de potencia lineal



Dibujos técnicos

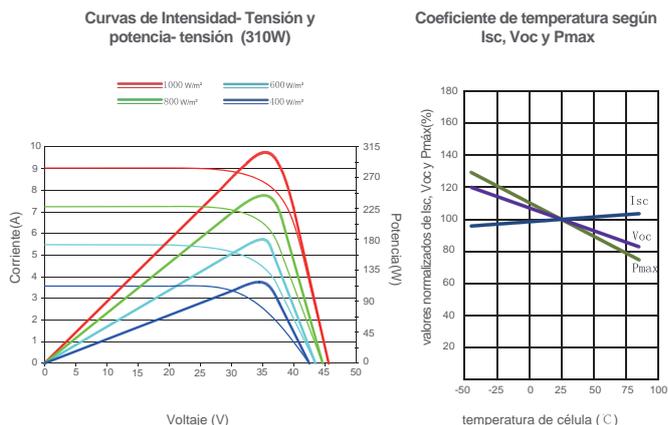


Embalaje

(Dos cajas = un palet)

25 pzs./caja, 50 pzs./caja, 600 pzs./40 'HQ contenedores

Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura



Características mecánicas

Tipo de célula	Policristalina 156×156 mm (6 pulgadas)
Nº de células	72 (6×12)
Dimensiones	1956×992×40mm (77,01×39,05×1,57 pulgadas)
Peso	26,5 kg (58,4 libras.)
Vidrio frontal	4,0mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TÜV 1×4,0 mm ² , Longitud: 900mm

ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM310PP(Plus)		JKM315PP(Plus)		JKM320PP(Plus)		JKM325PP(Plus)	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (Pmáx)	310Wp	231Wp	315Wp	235Wp	320Wp	238Wp	325Wp	242Wp
Tensión en el punto Pmáx-VMPP (V)	37.0V	33.9V	37.2V	34.3V	37.4V	34.7V	37.6V	35.0V
Corriente en el punto Pmáx-IMPP (A)	8.38A	6.81A	8.48A	6.84A	8.56A	6.86A	8.66A	6.91A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	45.9V	42.7V	46.2V	43.2V	46.4V	43.7V	46.7V	44.0V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	8.96A	7.26A	9.01A	7.29A	9.05A	7.30A	9.10A	7.34A
Eficiencia del módulo (%)	15.98%		16.23%		16.49%		16.75%	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C							
Tensión máxima del sistema	1000VDC (IEC)							
VALORES máximos recomendados de los fusibles	15A							
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%							
Coeficiente de temperatura de PMAX	-0.40%/°C							
Coeficiente de temperatura de VOC	-0.30%/°C							
Coeficiente de temperatura de ISC	0.06%/°C							
TEMPERATURA operacional nominal de célula	45±2°C							

STC: Radiación 1000 W/m² Célula módulo 25°C AM=1.5

NOCT: Radiación 800 W/m² Ambiente módulo 20°C AM=1.5 Velocidad del viento 1m/s

* TOLERANCIA de medición de potencia: ± 3%

SUNNY HIGHPOWER PEAK3

SHP 100-20 / SHP 150-20



Efficient

- High power density with 150 kW thanks to its compact structure
- Max. yield due to possible DC/AC ratio of up to 150%

Reliable

- Superior PV system availability with 150 kW units
- Innovative digital features aligned with the energy management platform ennexOS

Flexible

- For DC input voltages up to 1500 V
- Flexible DC solutions with customer-specific PV array junction boxes

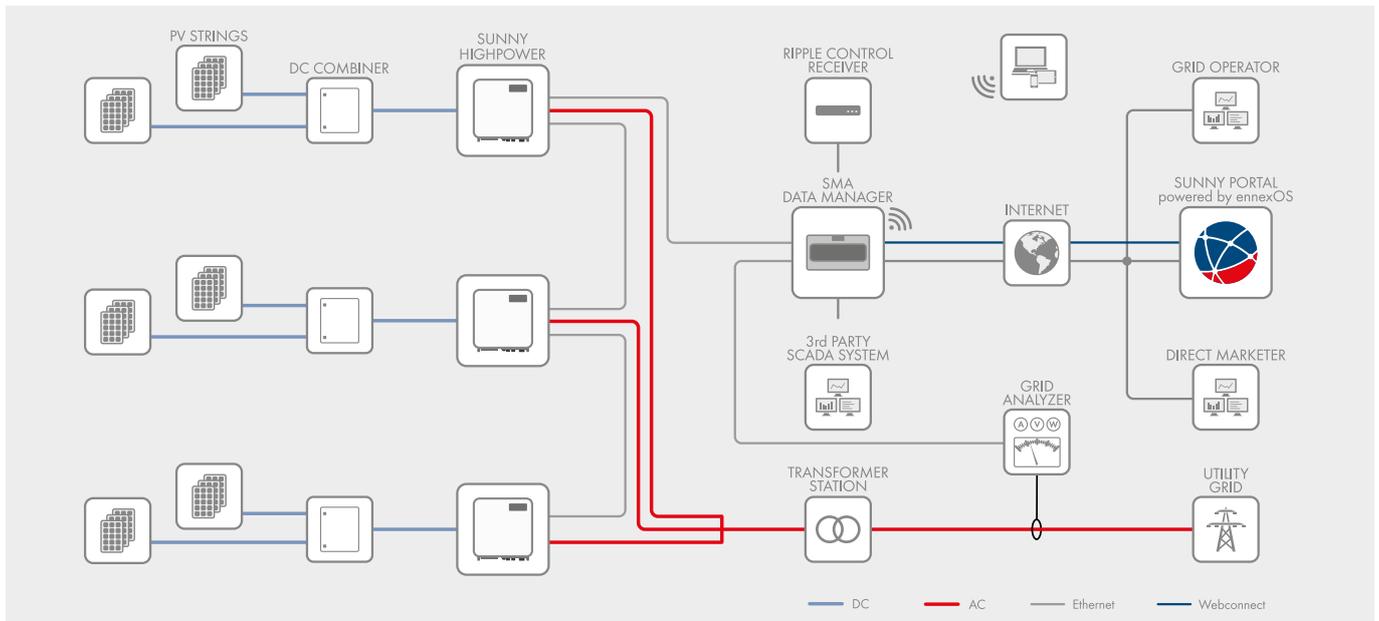
Easy to install

- Ergonomic handling and simple connection for quick installation
- Centralized commissioning and control of the PV power plant via SMA Data Manager

SUNNY HIGHPOWER PEAK3

Customized for tomorrow today

The Sunny Highpower PEAK3 is the central component of the SMA solution for PV power plants with a decentralized architecture and system voltages of 1500 V DC. This compact string inverter enables cost-optimized solutions for industrial PV applications thanks to its high power density. It also provides a simple way of transport and allows for quick installation and commissioning. This string inverter with 150 kW of power is equipped with the automatic SMA Smart Connected service for proactive servicing that facilitates operation and maintenance and reduces service costs throughout the entire project lifetime.



Technical Data	Sunny Highpower 100-20	Sunny Highpower 150-20
Input (DC)		
Max. PV array power	150000 Wp	225000 Wp
Max. input voltage	1000 V	1500 V
MPP voltage range / rated input voltage	590 V to 1000 V / 590 V	880 V to 1450 V / 880 V
Max. input current / max. short-circuit current	180 A / 325 A	180 A / 325 A
Number of independent MPP trackers	1	1
Number of inputs	1 or 2 (optional) for external PV array junction boxes	
Output (AC)		
Rated power at nominal voltage	100000 W	150000 W
Max. apparent power	100000 VA	150000 VA
Nominal AC voltage / AC voltage range	400 V / 304 V to 477 V	600 V / 480 V to 690 V
AC grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 66 Hz	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 66 Hz
Rated grid frequency	50 Hz	50 Hz
Max. output current	151 A	151 A
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0 overexcited to 0 underexcited	
Harmonic (THD)	< 3%	< 3%
Feed-in phases / AC connection	3 / 3-PE	3 / 3-PE
Efficiency		
Max. efficiency / European efficiency	98.8% / 98.6%	99.1% / 98.8%
Protective devices		
Ground fault monitoring / grid monitoring / DC reverse polarity protection	● / ● / ●	● / ● / ●
AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / -	● / -
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●	●
Monitored surge arrester (type II) AC / DC	● / ●	● / ●
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (as per IEC 62109-1)	I / AC: III; DC: II	I / AC: III; DC: II
General Data		
Dimensions (W / H / D)	770 mm / 830 mm / 444 mm (30.3 in / 32.7 in / 17.5 in)	
Weight	98 kg (216 lbs)	
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)	
Noise emission (typical)	< 65 dB(A)	
Self-consumption (at night)	< 5 W	
Topology	transformerless	
Cooling method	OptiCool, active cooling, speed-controlled fan	
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%	
Features / function / accessories		
DC connection / AC connection	Terminal lug (up to 300 mm ²) / Screw terminal (up to 150 mm ²)	
LED display (Status / Fault / Communication)	●	
Ethernet interface	● (2 ports)	
Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus / Speedwire, Webconnect	● / ● / ●	
Mounting type	Rack mounting	
OptiTrac Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●	
Off-grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible	● / ●	
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○ / ○	
Certificates and approvals (planned)	IEC 62109-1/-2, AR N-4110, AR N-4120, CEI 0-16, C10/11:2012, EN 50549, PEA 2017, DEWA	
● Standard features ○ Optional features - Not available Data at nominal conditions Status: 12/ 2018		
Type designation	SHP 100-20	SHP 150-20

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto : Elche 1

Sitio geográfico	Elche	País	Espana
Ubicación	Latitud 38.26° N	Longitud	-0.70° W
Tiempo definido como	Hora Legal Huso horario UT	Altitud	86 m
	Albedo 0.20		
Datos meteorológicos:	UMH	NASA-SSE satellite data 1983-2005 - Sintético	

Variante de simulación : simulación 1

Fecha de simulación 18/08/19 19h39

Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados	
Orientación plano captador	Inclinación	12°	Acimut 0°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso Perez, Meteororm
Horizonte	Sin horizonte		
Sombreados cercanos	Sin sombreado		
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)		

Características del conjunto FV

Módulo FV	Si-poly	Modelo	JKM 325PP-72 (Plus)	
Base de datos PVSyst original		Fabricante	Jinkosolar	
Número de módulos FV		En serie	9 módulos	En paralelo 289 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	2601	Pnom unitaria 325 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	845 kWp	En cond. de funciona. 765 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	308 V	1 mpp 2485 A
Superficie total		Superficie módulos	5047 m²	Superficie célula 4557 m ²

Inversor

		Modelo	4.2 kWac inverter	
Base de datos PVSyst original		Fabricante	Generic	
Características		Voltaje de funcionam.	125-500 V	Pnom unitaria 4.20 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	151 unidades	Potencia total 634 kWac
				Relación Pnom 1.33

Factores de pérdida del conjunto FV

Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (viento)	0.0 W/m ² K / m/s
Pérdida óhmica en el Cableado		Res. global conjunto	2.1 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de pérdidas	-0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos				Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas				Fracción de pérdidas	0.10 %
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parám. bo	0.05

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : Elche 1

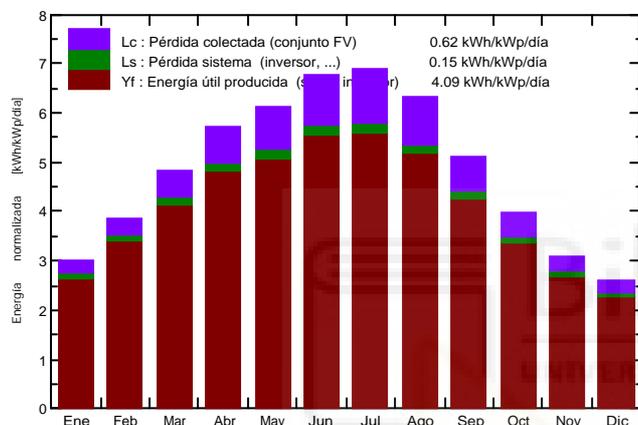
Variante de simulación : simulación 1

Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados	
Orientación Campos FV	inclinación	12°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	JKM 325PP-72 (Plus)	Pnom	325 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	2601	Pnom total	845 kWp
Inversor	Modelo	4.2 kWac inverter	Pnom	4200 W ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	151.0	Pnom total	634 kW ac
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

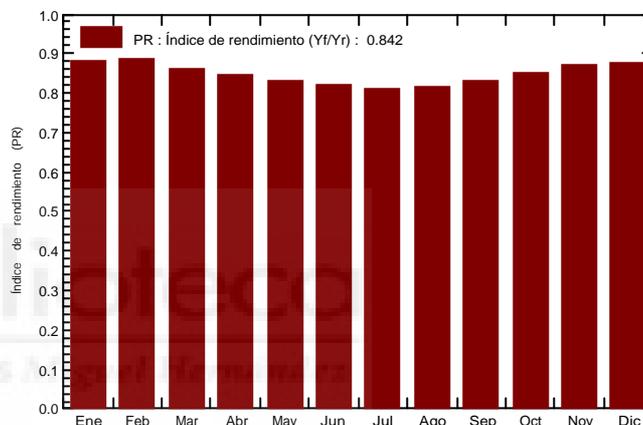
Resultados principales de la simulación

Producción del sistema	Energía producida	1263 MWh/año	Produc. específica	1494 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	84.19 %		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 845 kWp



Índice de rendimiento (PR)



simulación 1

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	71.9	24.80	11.03	93.4	89.4	72.3	69.8	0.884
Febrero	88.2	29.96	11.48	108.4	104.4	84.1	81.2	0.886
Marzo	131.7	45.88	13.12	149.1	144.2	112.7	108.8	0.863
Abril	160.5	56.70	15.11	171.2	165.7	126.7	122.4	0.846
Mayo	186.3	69.13	18.11	189.3	183.2	138.1	133.3	0.833
Junio	203.1	67.20	21.93	203.2	196.8	145.8	140.7	0.819
Julio	212.0	64.79	24.58	213.8	207.4	151.8	146.5	0.810
Agosto	186.9	58.28	25.17	196.1	190.5	140.5	135.6	0.818
Septiembre	138.9	48.60	22.68	153.6	148.5	111.7	107.8	0.831
Octubre	105.1	38.13	19.34	123.1	119.0	91.8	88.6	0.851
Noviembre	72.3	27.00	15.11	92.5	88.6	70.7	68.2	0.873
Diciembre	61.4	23.25	12.32	80.7	77.1	62.1	59.9	0.878
Año	1618.4	553.72	17.53	1774.4	1714.8	1308.3	1262.8	0.842

Leyendas: GlobHor Irradiación global horizontal DiffHor Irradiación difusa horizontal T_Amb Temperatura Ambiente GlobInc Global incidente plano receptor	GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados EArray Energía efectiva en la salida del conjunto E_Grid Energía inyectada en la red PR Índice de rendimiento
---	---

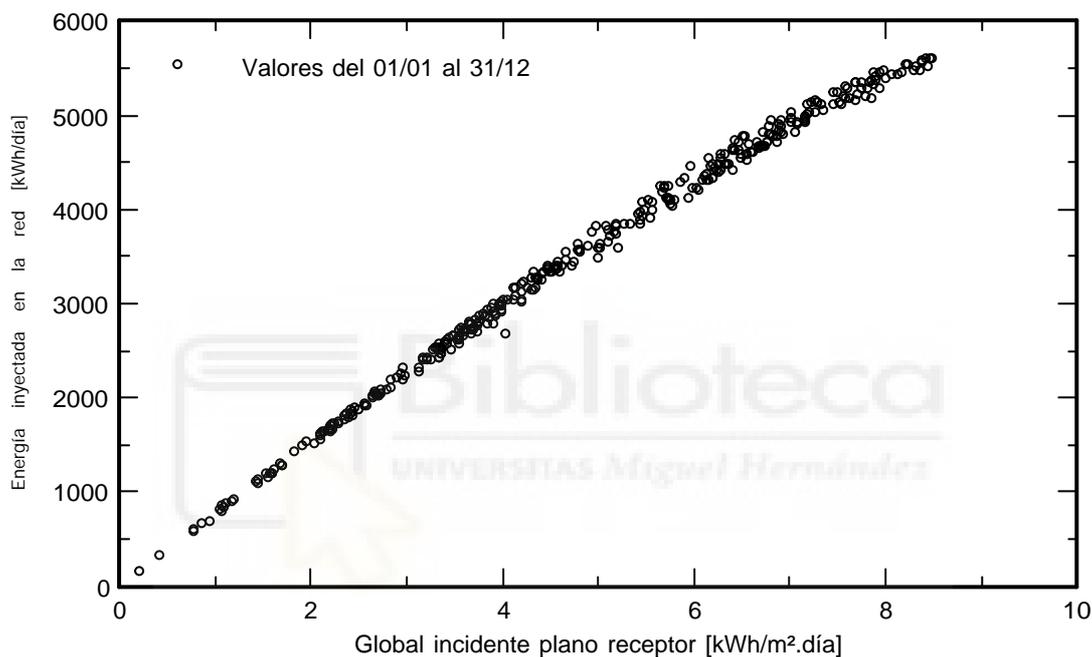
Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

Proyecto : Elche 1

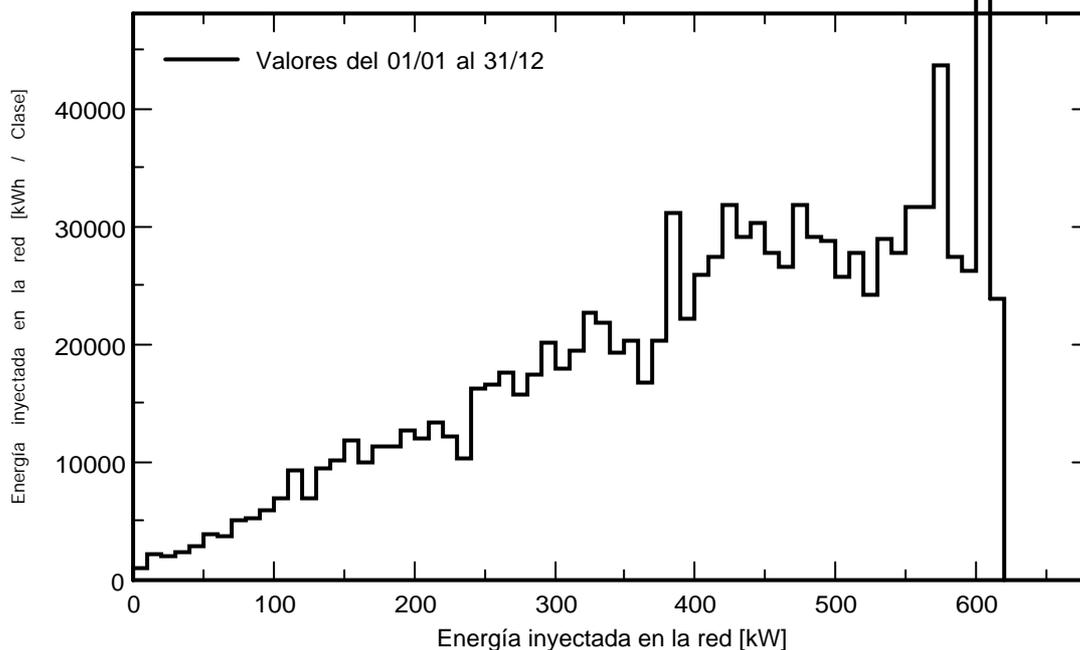
Variante de simulación : simulación 1

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados		
Orientación Campos FV	inclinación	12°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	JKM 325PP-72 (Plus)	Pnom	325 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	2601	Pnom total	845 kWp
Inversor	Modelo	4.2 kWac inverter	Pnom	4200 W ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	151.0	Pnom total	634 kW ac
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Elche 1

Variante de simulación : simulación 1

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados	
Orientación Campos FV	inclinación	12°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	JKM 325PP-72 (Plus)	Pnom 325 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	2601	Pnom total 845 kWp
Inversor	Modelo	4.2 kWac inverter	Pnom 4200 W ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	151.0	Pnom total 634 kW ac
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)		

Diagrama de pérdida durante todo el año

