



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Estudio de alternativas de instalaciones fotovoltaicas en cubiertas de centros de alto consumo energético.

Memoria

Trabajo final de máster

Titulación: Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y puertos

Curso: 2015/16

Autor: Sanchis Molines, Borja

Tutor: Pérez Martín, Miguel Ángel

Valencia, septiembre de 2016





Índice

I. Introducción y Objetivos.	4	vii. Alternativa seleccionada.	40
II. Localización.	5	viii. Influencia de las baterías.	42
III. Antecedentes.	7	VII. Normativa.	43
i. Marco Energético Español.	7	i. Influencia de las distintas leyes en el proyecto.	43
ii. Nave Comercial “Agustí e Hijos S.L.”.	10	VIII. Instalación y Mantenimiento.	44
IV. Producción Energía Solar.	11	i. Módulos.	44
i. Condicionantes previos.	11	ii. Inversor.	45
ii. Producción Mensual.	11	IX. Instalación determinada y Conclusiones.	48
iii. Producción diaria.	11	X. Referencias.	50
V. Demanda eléctrica.	14		
i. Bases de la demanda industrial.	14		
ii. Caracterización de la demanda.	14		
iii. Representación de la demanda.	14		
VI. Instalación solar.	17		
i. Consideraciones previas y descripción de las alternativas.	17		
ii. Diseño de las distintas alternativas.	19		
iii. Anclajes.	25		
iv. Análisis de precios.	27		
v. Estudio económico.	31		
vi. Análisis de sensibilidad.	38		

I. Introducción y Objetivos.

La energía solar es una de las más importantes de las energías renovables ha protagonizado en los últimos años una progresión debido a las mejoras de la tecnología, asociada a la reducción de costes y principalmente gracias al interés mostrado por las diferentes administraciones en distintos países, en forma de ayudas y subvenciones. El precio de venta establecido por la compra de la energía eléctrica producida en instalaciones de potencia inferior a 100 Kilovatios unido a las subvenciones aportadas por las diferentes administraciones, permite que este tipo de instalaciones se hayan convertido en viables. Este hecho unido a la voluntad de contribuir en la medida de lo posible a la sostenibilidad energética, ha hecho posible el incremento exponencial de estos proyectos de energía solar fotovoltaica integrada en cubiertas de edificios industriales y conectados a la red.

La Energía solar, es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol. La radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce, como también a través de la absorción de la radiación, por ejemplo en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es una de las llamadas energías renovables particularmente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde. La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar. Sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones. La irradiancia directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de 1354 W/m^2 (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de 1395 W/m^2 y un valor mínimo en el afelio de 1308 W/m^2).

El presente trabajo va a tratar sobre el diseño de una instalación fotovoltaica en la cubierta de una nave industrial, con el fin de conseguir el máximo aprovechamiento de energía solar incidente en la zona de estudio, eligiendo el modelo de uso de la energía más apropiado (autoconsumo, venta, baterías,...). Para ello se van a diseñar todos los elementos que forman parte del tipo sistema fotovoltaico elegido de captación, almacenamiento y utilización de la energía eléctrica generada.

El primer paso va a consistir en un análisis del emplazamiento. El objetivo de esto será asegurar la conveniencia de la zona por las condiciones solares que presenta, es decir, cuantas horas de sol dispone y su potencia.

Como se comentaba al principio de este apartado, la energía solar ha experimentado una progresión muy notable dentro de las energías renovables, por ello, se va a comprobar la realidad de esta creencia con datos reales de institutos oficiales. Una vez, analizada la base de datos se intentará explicar los motivos de las fluctuaciones de producción y consumo de los distintos tipos de energías eléctricas.

Primero de todo y lo más importante, será comprobar que el proyecto propuesto en función de la demanda existente por parte de la industria objeto de estudio podría ser abastecida por la energía

obtenida en función de las características solares de la zona; es decir, comprobar la viabilidad del proyecto propuesto. Para ello se va a acceder a bases de datos oficiales para obtener el potencial solar de la zona y su producción estimada. Una vez obtenido se dividirá esta producción en secciones en función de la estación del año, para analizar posteriormente las causas de la variación de la producción en función de la época del año.

Cuando se habla oferta-demanda, se da por sentado que la oferta debe ajustarse a la demanda, y, así es. Por ello, se va a analizar si la energía solar es capaz de cubrir la demanda solicitante. Por ello, se va a generar una demanda típica del sector industrial y se va a cruzar con la producción esperada en el lugar estudiado. Finalmente se analizarán los motivos por los cuales se ajustan o no ambas curvas y se propondrán alternativas de utilización de la energía no ajustada.

Algo muy importante en este tipo de instalaciones es la seguridad, tanto por la seguridad de las personas que se encuentren trabajando en el interior de la industria, como de la delicadez y coste de los equipos utilizados. Por esto, se estudiarán distintos modos de anclar los módulos solares y su resistencia frente a las solicitudes esperadas; además se comprobará la resistencia de la cubierta frente al peso de todos los equipos dispuestos.

El estudio va a centrarse en realizar un estudio de mercado y económico lo más aproximado posible a la realidad de marco económico del sistema eléctrico. Todos los precios y números obtenidos de bases de datos, se pretende que sean contrastados y estimados de la forma más conveniente en cada caso con bases de datos españolas y fiables que den soporte a los valores escogidos para que puedan ser justificados.

Dado que se trata de un estudio, la consideración de diversas alternativas posibles va a ser muy importante para asegurar la eficiencia de la instalación, por lo que en este caso se van a considerar diversas alternativas para el tipo de diseño escogido, eligiendo de entre ellas la óptima. Además de considerar las alternativas del tipo de diseño escogido, también se van a comparar con otro tipo de diseño de instalación solar fotovoltaica que, en principio, es menos aconsejables con las condiciones del proyecto, pero para cubrir todos los posibles puntos del estudio será necesario comprobar (baterías).

Otro aspecto muy importante es la normativa. Dada la importancia y su gran incidencia en el sector eléctrico, se va a realizar un estudio de la evolución de la normativa con el fin de analizar cuál es la tendencia actual y cuales han sido las medidas adoptadas en el pasado para favorecer el desarrollo de las energías renovables. Se analizará la incidencia de los cambios de normativa en el caso de que se aplicasen al presente estudio y se observará si resulta rentable aplicando diversos decretos.

Por último, y no menos importante, es conocer y exponer la correcta manipulación de los equipos utilizados en la instalación. Por ello se estudiará a fondo los manuales de los equipos más importante empleado. Se estudiarán las mejores formas de mantenerlo y se propondrá un programa para realizar inspecciones periódicas con el fin de mantener las condiciones óptimas de funcionamiento de los equipos y que no decaiga su rendimiento.

Como ya se ha comentado el principal objetivo del presente trabajo va a ser el diseño de una instalación solar fotovoltaica con datos reales, por lo que este estudio pretende servir como base para un proyecto de características similares.

II. Localización.

La nave estudiada se encuentra en la Comunidad Valenciana (coordenadas geográficas: 38° 58' 39" al Norte; 0° 33' 5" al Oeste; 140 metros sobre el nivel del mar). Se puede apreciar en la siguiente imagen que se sitúa en una zona cercana la costa, aunque la distancia real a la costa ronda los 60km.

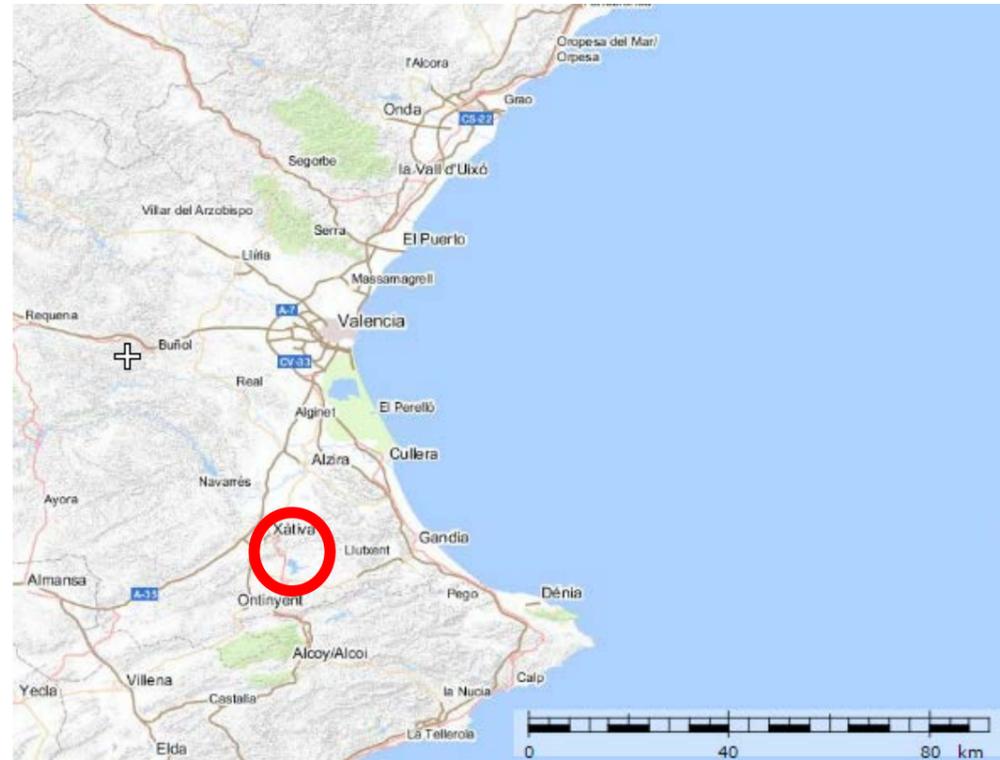


Imagen 1. Localización de la nave industrial a nivel comunitario.

Dada su proximidad a la costa y como se explica en el "Anejo climatológico" la zona presenta un Clima Mediterráneo caracterizado por ser suave y húmedo, con una temperatura media de 18 grados centígrados y una precipitación media de 40mm. Los meses más lluviosos son octubre y noviembre siendo los más cálidos julio y agosto. Esta zona cuenta con más de 300 días de sol al año.

Con este clima tan favorable para el aprovechamiento solar, la zona mediterránea, se considera como una situación muy propicia para realizar estos estudios para la instalación de paneles solares fotovoltaicos. La principal ventaja de esta zona es su gran número de horas de solar y la incidencia del sol es casi perpendicular.

A continuación se presenta un mapa del potencial solar eléctrico fotovoltaico en Europa. En él se puede apreciar la gran calidad de la zona mediterránea respecto a otros climas europeos. Como se puede apreciar España, generalmente, es una zona con alto potencial para la instalación de paneles. La zona estudiada, en el levante valenciano, ronda unos valores de 2000kWh/m², un valor alto que, en principio, hace pensar que el estudio resulte rentable.

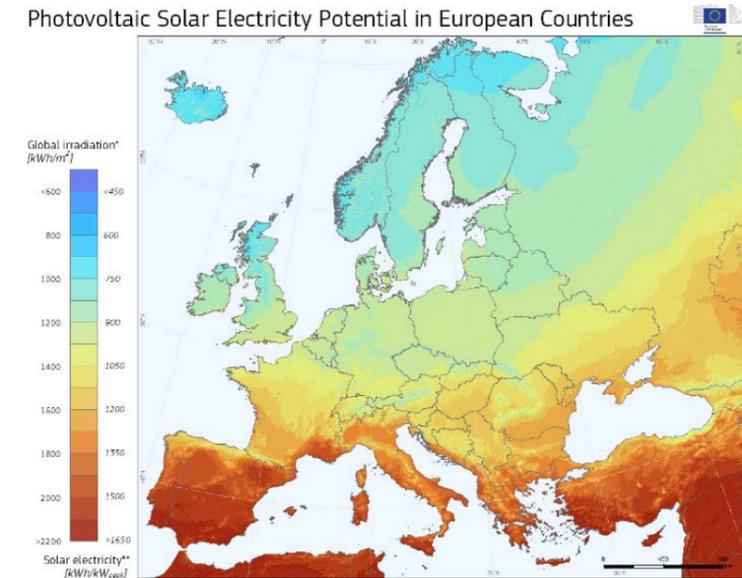


Imagen 2. Potencial fotovoltaico en Europa.

Respecto al emplazamiento regional, la nave se sitúa a las afueras de la población Novelé. Esta nave pertenece a la empresa "Comercial Agustí e Hijos S.L." situada en el polígono industrial del término municipal de Novelé/Novetlé, población situada a 1km al sur de Xàtiva. Dada la actividad desarrollada que más tarde se comentará, este lugar es óptimo con el fin de evitar molestias urbanas debido a ruidos de maquinaria y entrada y salida de camiones.

Dada la masificación del polígono industrial de Novelé, situado en frente de la población (separado por una circunvalación), la nave estudiada se sitúa en un segundo polígono improvisado por la empresas situado a las afueras de la zona izquierda de la población. Cabe destacar que aunque es una zona retirada de la población no está tan alejada como el polígono industrial principal.

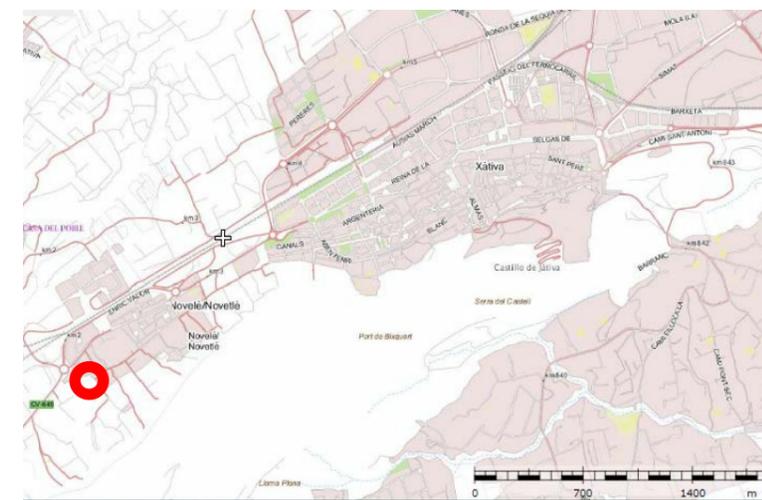


Imagen 3. Localización de la nave a nivel municipal.

Como ya se ha comentado, la zona de emplazamiento es óptima para uso de esta tecnología. Pues se encuentra en una zona europea, lo que implica que el país tiene cierta economía para hacer frente el gasto que supone la instalación y capacidad tecnológica para el desarrollo del proyecto solar; además dentro de esta zona, España es uno de los países con mayor irradiación dentro de los países europeos.



Imagen 4. Fotografía Nave industrial. Google Earth.

La nave se sitúa en una zona bastante solitaria, rodeada por zona de montaña en la mayor parte de su entorno. Esto le confiere una atmósfera bastante limpia. Dado que al sureste de la nave hay una montaña que reduce las horas de aprovechamiento solar, los paneles solares se orientarán hacia el noroeste para aprovechar al máximo la radiación solar incidente.

La nave estudiada tiene una superficie rectangular con más de 900m² útiles para el desarrollo de la actividad industrial que se desee. La cubierta, sólo habilitada para tareas de mantenimiento de la infraestructura, es de contrachapado con correas; ésta tiene una inclinación de unos 20º, más tarde este valor será muy útil para la inclinación necesaria de los paneles fotovoltaicos.

La empresa está dedicada al sector servicios con numerosas tiendas de distribución y un par de naves industriales de almacenamiento y fabricación. La actividad industrial que se prevé en esta nave es la fabricación, empaquetado y distribución de material escolar

III. Antecedentes.

La energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras de las energías renovables en el mundo. Comparada con las fuentes no renovables, las ventajas son claras: es no contaminante, no tiene partes móviles que analizar y no requiere mucho mantenimiento.

No requiere de una extensa instalación para operar. Los generadores de energía pueden ser instalados de una forma distribuida en la cual los edificios ya construidos, pueden generar su propia energía de forma segura y silenciosa. No consume combustibles fósiles. No genera residuos. No produce ruidos es totalmente silenciosa. Es una fuente inagotable. Ofrece una elevada fiabilidad y disponibilidad operativa excelente.

En resumen, la energía fotovoltaica es generada directamente del sol. Los sistemas fotovoltaicos no tienen partes móviles, por lo tanto no requieren mantenimiento y sus celdas duran décadas.

Además de las ventajas ambientales también debemos tener en cuenta las socio-económicas.

Instalación simple. Tienen una vida larga (Los paneles solares duran aproximadamente 30 años).

Resisten condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad. No existe una dependencia de los países productores de combustibles. Puede instalarse en zonas rurales desarrollo de tecnologías propias. Se puede utilizar en lugares de bajo consumo y en casas ubicadas en parajes rurales donde no llega la red eléctrica general. Puede venderse el excedente de electricidad a una compañía eléctrica. Puede aumentarse la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos.

De este sistema de generación de energía, no es tanto el origen de dicha energía que es el Sol, que tiene reservas que exceden de nuestras necesidades, ni tampoco la materia prima de donde se extrae el silicio, que consiste en arena común muy abundante en la naturaleza: se trata de la técnica de construcción y fabricación de los módulos fotovoltaicos que es complejo y caro.

Requiere una importante inversión inicial. Es una energía de difícil almacenamiento. No es económicamente competitiva con otras energías actuales. Producción variable según climatología del lugar y época del año. Otro inconveniente es el rendimiento obtenido y el espacio de terreno ocupado por los elementos captadores: el rendimiento final se estima en solo un 13%.

i. Marco Energético Español.

El presente marco energético español es muy distinto del de hace un par de décadas. El incentivo de las energías renovables en detrimento de las fósiles, esto es debido, principalmente, al carácter finito de éstas últimas y al respeto del medioambiente de las energías renovables.

El desarrollo global de esta tecnología ha alcanzado unos ritmos de crecimiento del orden del 40%, que coincide con el ritmo de crecimiento en España. Aún con este crecimiento, la contribución actual de la energía eléctrica de carácter fotovoltaico para cubrir las necesidades energéticas es ínfima

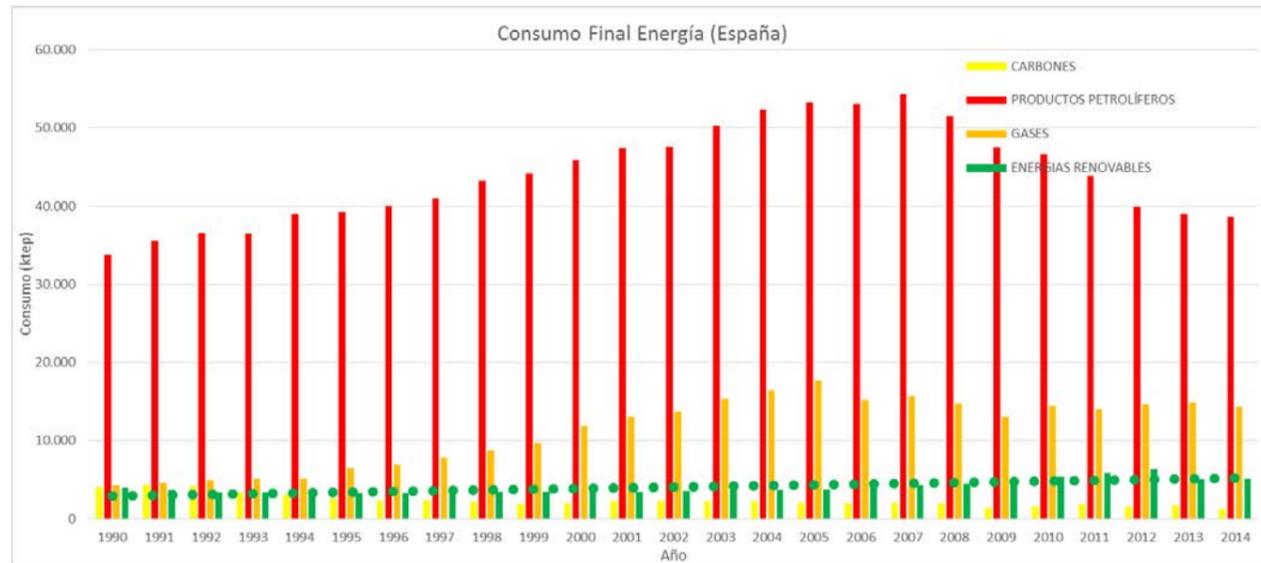
y lo será los próximos años. Esta perseverancia llevaría a un futuro como puede ser el que vaticinan muchos modelos de entidades con reputación como la empresa de energía Shell, o como el que se muestra a continuación: el de los expertos designados el año 2003 por el Gobierno alemán para estudiar el cambio climático.

Parece prudente diversificar las opciones energéticas no desechando ninguna alternativa que demuestre su potencial. Con este principio, la energía solar fotovoltaica pide un sitio dentro de los esfuerzos globales para a cambiar o adaptar el modelo energético, y lo pide porque su propia naturaleza la hace idónea para responder a los problemas medioambientales del modelo actual y porque el coste para apoyar su desarrollo es asumible, al ser, por ejemplo, una pequeñísima parte del coste de las catástrofes debidas al cambio climático (el director de los programas medioambientales de las Naciones Unidas y ex-ministro alemán de Medio ambiente Klaus Töpfer estimó, en 100.000 millones de euros, el coste en el Año 2001, de los daños ocasionados por el cambio climático).

El apoyo de la energía solar fotovoltaica en España, según el modelo de cálculo del ASIF con los datos de entrada que proporciona el Plan de Energías Renovables aprobado en el mes de Agosto de este año, supondría en el mes más desfavorable del período que cumple el Plan una aportación de menos de medio euro en cada recibo de la luz de las familias españolas. Dentro de unos años no será necesaria esta contribución al alcanzarse el objetivo de que el coste de generar electricidad en nuestro propio tejado fotovoltaico sea igual al precio que nos cobra la compañía eléctrica comercializadora. En este momento, y según el modelo, la penetración del mercado de la generación solar fotovoltaica se acercaría al 8% del consumo actual.

Es necesario recordar que muy pocas tecnologías estratégicas de las que ahora se disfrutan fueron rentables desde el primer momento y se desarrollaron en un contexto a merced de las leyes del mercado, sin necesitar apoyo de la sociedad y de sus gobiernos en sus primeras décadas de existencia; al contrario la mayoría de ellas lo necesitaron: el ferrocarril, los automóviles, la aviación, las telecomunicaciones y no solo sus satélites, la energía nuclear de fisión y, si tiene éxito, la habrá tenido la energía nuclear de fusión caliente, el ordenador, e incluso internet que necesito apoyo total durante sus primeros 30 años de vida. Con unos niveles de insolación tan favorables como se tienen en España y con una dependencia energética del exterior, el apoyo de la energía solar en el país es especialmente fructífero, pues las instalaciones solares son muy eficientes, y ayudan a la independencia energética. Teniendo en cuenta los precios presentes de algunos productos energéticos que debemos importar, se podría decir que la ayuda actual a las energías autóctonas resulta menor de lo que se paga ahora por la vulnerabilidad energética. El actual presidente del gobierno ha dicho en el discurso con motivo de la ratificación del Protocolo de KYOTO que el poco apoyo a las energías renovables es un tema de inteligencia y debido, entre otras razones, a la naturaleza de la tecnología muy benigna con el medio-ambiente, a nuestra latitud geográfica y a la importantes industria que tenemos, la ayuda perseverante de la sociedad española a la energía fotovoltaica cae de lleno en esta aseveración.

A continuación, se muestran unas gráficas, con datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística (INE), de la tendencia energética en España en las últimas dos décadas:



Gráfica 1. Consumo Energía España. INE.

En este primer gráfico se ha representado el consumo de las energía fósiles (petróleo, carbón,...) frente al consumo de las energías renovables. En líneas generales se puede apreciar que la utilización de energías fósiles es mucho mayor respecto las renovables, aunque se puede apreciar que desde el año 2007, con la normativa de respeto medioambiental y el comienzo de la crisis mundial, el consumo de energías finitas ha comenzado a descender, en cambio, como se puede apreciar en la recta ajustada para las columnas pertenecientes a energías renovables, éstas no paran de crecer, lentamente pero de forma constante.

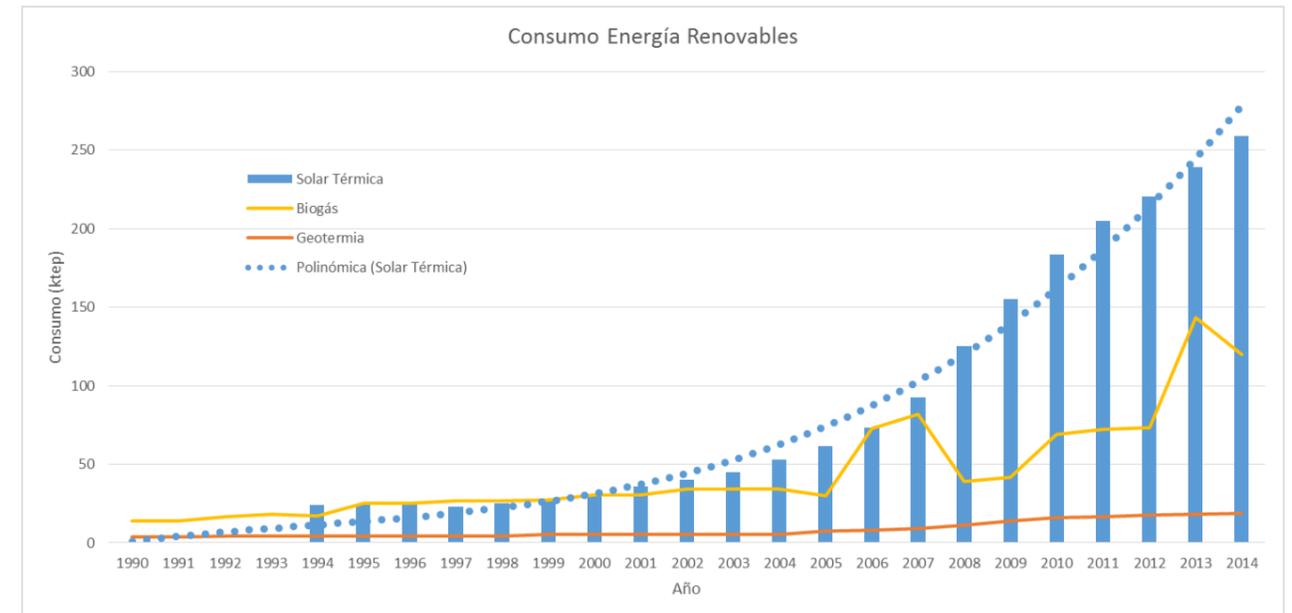
Con las normativas que se están aplicando desde el nacimiento de las energías renovables, su crecimiento se puede considerar lento, respecto a las energías fósiles. Esto es debido principalmente al funcionamiento del mercado pues, mediante las energías renovables, generalmente no se puede tener mucha independencia con la tecnología actual y hay ciertos tipos de demanda repentinos que no pueden ser cubiertos. Otro motivo es la presión de los gigantes de energías fósiles pues ven en las energías un gran competidor pues requieren mucho menos mantenimiento y constancia de generación eléctrica, pues se genera sola mediante los fenómenos naturales.

El carbón como energía fósil y finita, ha experimentado una disminución su uso radical como se aprecia en la gráfica. Existen numerosos motivos pero destaca su enorme contaminación que es inaceptable con la nueva legislación en materia de medio ambiente. El detrimento del uso de carbón parece ser compensado con el crecimiento del uso de energías renovables. Aun así, no se considera que el crecimiento de las renovables sea suficiente, pues los objetivos marcados para el año 2020 son

tremendamente ambiciosos, con la intención de doblar el consumo actual e incluso triplicarlo en algunos países de la Unión.

A continuación se muestran dos gráficas referentes al consumo y producción de energías solares.

Respecto al consumo:



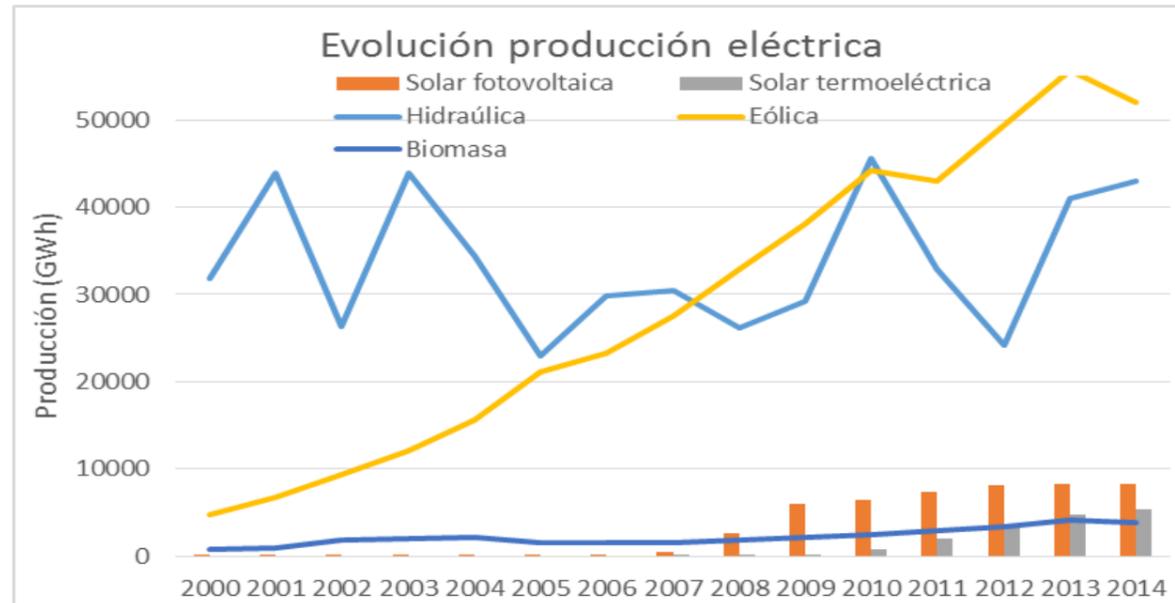
Gráfica 2. Consumo Energía renovables España. INE.

Este segundo gráfico también representa consumos, pero en este caso se centra en aquellos que se cubren mediante energías renovables, y particularmente las energías solares. Se observa que cuantitativamente son mucho menores que los valores se alcanzaban en la gráfica anterior. Se puede apreciar como la energía solar está experimentando un crecimiento considerable respecto otras más inestables, como el biogás, sobre todo a partir del año 2008, curiosamente un año después que las energías fósiles comenzarán a disminuir.

Existen energías renovables que no pueden cubrir una mayor cantidad de demanda aun mejorando su tecnología, pues son energías que su producción está estancada. Éste es el caso de las energías renovables Biogás y Geotermia, pues aun con el paso del tiempo y mejorando su tecnología éstas siguen estancadas. En cambio, la energía solar tiene un potencial enorme, esto queda demostrado en el gráfico, pues con un menor tiempo de desarrollo de la tecnología empleada la evolución ha sido mucho mayor que las otras dos comentadas, con más tiempo de utilización.

Otro aspecto que requiere ser comentado es la juventud de esta tecnología. Pues, en tan sólo 20 años ha logrado quintuplicar su consumo, pues ésta comenzó a desarrollarse, alrededor del año 1994. Esto es debido principalmente a los incentivos económicos propuestos por la administración del Estado. Pues como se ha comentado, España debe cumplir unos mínimos de energías renovables instaladas, con el fin de ir, poco a poco, sustituyendo las energías finitas, que dominan el mercado actual, por energías limpias y renovables.

Respecto a la producción:



Gráfica 3. Evolución producción energía eléctrica española por las fuentes renovables

La energía hidráulica ha sido la primera en desarrollarse pero el carácter circunstancial de los ríos genera una producción como la mostrada, muy inestable. Poco a poco se está consiguiendo estabilizar su generación mejorando su tecnología y con nuevos avances como las centrales hidroeléctricas reversibles, pero es obvio que todavía queda mucho. Aun así, sigue siendo una de las energías más importantes, sobre todo en España.

La energía eólica por su parte, comenzó a desarrollarse al mismo tiempo, más o menos, que la solar, pero no tuvo un gran avance. En cambio, con todos los avances ocurridos a principios del siglo XXI ha experimentado un aumento muy considerable, principalmente debido a los incentivos propuesto por su uso e investigación.

Finalmente, como ya se comentaba anteriormente, la energía solar es una tecnología mucho más joven que las dos anteriores, por ello los valores cuantitativos son mucho menores. Pero dados los avances científicos y la evolución de la tecnología es una energía renovable con mucho potencial. Más tarde se verá que la energía solar fotovoltaica va disminuyendo su inversión año tras año debido a una mejora de la tecnología que disminuye el coste de los paneles fotovoltaicos, principalmente.

Observando la evolución de los datos de producción se aprecia que tanto la energía solar como la eólica están experimentando unos crecimientos considerables, mientras que otras fuentes tan importantes como la energía hidráulica fluctúa en torno a un valor que parece constante desde el año 2000. Cuantitativamente la energía solar, y más concretamente la energía solar fotovoltaica, está muy lejos de valores de producción de las dos grandes potencias, la eólica y la hidráulica; pero, considerando que es una energía relativamente reciente, pues su verdadero crecimiento comienza en el año 2008, se puede ser optimista en cuanto a un crecimiento exponencial de la misma.

Algo que llama la atención, es que la producción de energías renovables muy superior a los valores reflejados en las tablas anteriores de consumo. Esto es debido a que su generación depende de la naturaleza y ésta tiene un carácter muy aleatorio, aun siguiendo un patrón más o menos conocido. Muchas veces las energías renovables producen en horas donde no hay consumo, por ello es muy importante la acumulación de su energía generada para aprovecharla al máximo. En esta dirección van los avances de las tecnologías desarrolladas pues en la hidráulica se construyen piscinas artificiales mediante turbinas reversible para almacenar agua en horas valle de consumo y utilizarla en horas punta o las baterías solares utilizadas con los paneles fotovoltaicos. Otra forma de aprovechar esta energía generada en momentos del día donde hay menos consumo es dar soporte a otra energía, esto sucede con la energía eólica, pues su producción mayoritaria se realiza de noche, por lo que generalmente ésta se combina con la energía hidráulica para subir agua de noche a la piscina artificial con la energía eólica.

ii. Nave Comercial “Agustí e Hijos S.L.”.

La empresa estudiada se dedica al sector de venta de material de oficina y escolar principalmente. El uso que se le da a la nave estudiada es de almacén de material y gestión empresarial principalmente, como se aprecia en el siguiente croquis en planta, la nave distribuye sus alrededor de 900m² del siguiente modo:

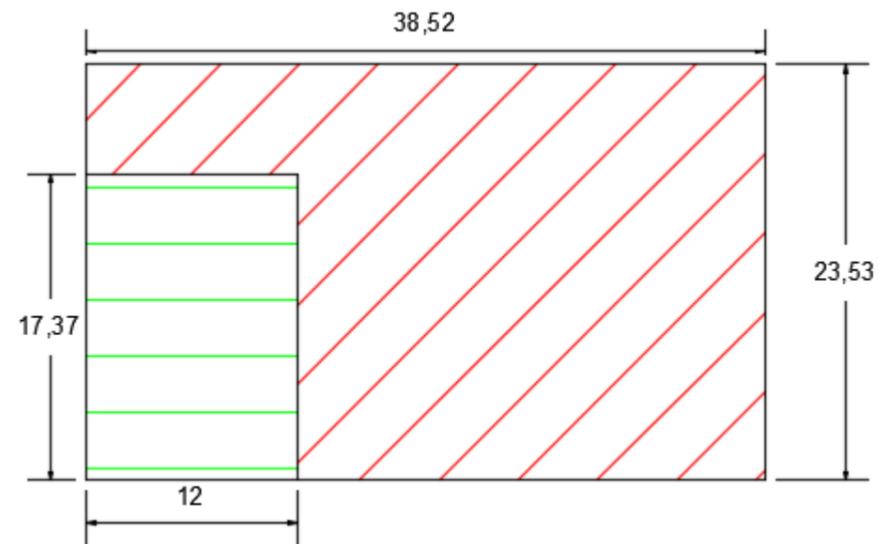
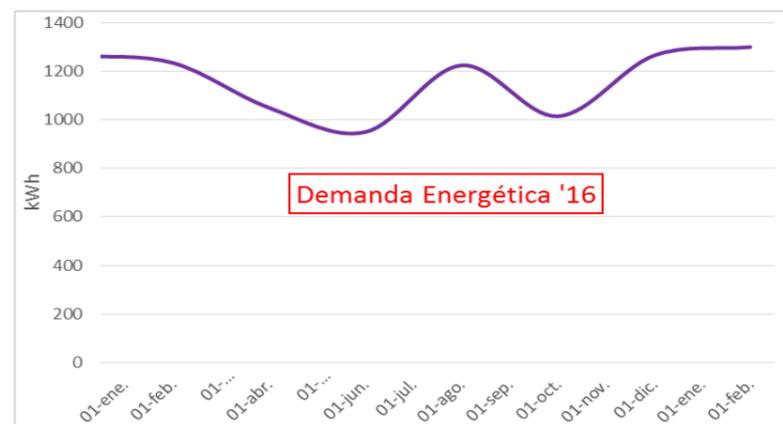


Imagen 5. Croquis en planta Nave Agustí e Hijos S.L. Zona verde oficinas. Zona roja almacén.

El verde representa el espacio de oficinas, y la zona rayada de color rojo representa el espacio de almacén por lo que la zona que representa un consumo energético en la nave es considerablemente pequeña, pues la actividad empresarial de ventas se concentra en la zona de oficinas. El consumo energético en esta infraestructura se debe principalmente al gasto de aire acondicionado y aparatos electrónicos para la gestión de la empresa. El consumo tipo anual de esta industria es el siguiente:



Gráfica 4. Demanda mensual inicial de la Nave Agustí e Hijos S.L.

Debido a una mejora en la economía de la sociedad española tras la crisis, la empresa está experimentando un gran aumento de la demanda de material. Es por esto que el propietario quiere cambiar el uso de la nave. Como se ha comentado, la nave descrita se encarga del almacenamiento de material y gestión empresarial, pero para hacer frente a la demanda pretende convertir la nave en una industria de fabricación, embalaje y almacenamiento. Por lo que la demanda mostrada, será muy inferior de la esperada tras la instalación de toda la maquinaria necesaria para las tareas explicada. Por este motivo, el propietario ha demandado un estudio económico para analizar la viabilidad de la instalación de paneles solares fotovoltaicos para autoabastecer su industria.

Dado el tipo de demanda descrito anteriormente, se observa que los picos de la misma se presentan en épocas cuando el gasto de luz y aire acondicionado es mayor, los meses de invierno y verano. La demanda media mensual no supera los 1500kWh, valor muy alejado de la demanda real de una nave del sector industrial, un consumo medio más normal de una vivienda unifamiliar, y puesto que el presente trabajo pretende realizar un diseño de paneles fotovoltaicos en una industria de alto estos valores no serían útiles. Es por esto, que dado que todavía no se conoce con certeza el consumo final de la nave, se van a realizar una estimación de la demanda en función de los valores habituales en el sector industrial.

Como consecuencia de esto, y puesto que la situación de emplazamiento es muy favorable en términos de producción de energía solar se van a tomar las siguientes medidas para continuar con el trabajo académico:

- Se va a utilizar las mismas condiciones de situación que tiene la nave real.
- El tamaño de la nave se considera como uno estándar en el sector industrial, por lo que también va a utilizarse las características geométricas de la nave real.
- La demanda va a ser modificada de forma que se asimile a valores alcanzados en el sector industrial que más adelante se analizarán.

IV. Producción Energía Solar.

Para obtener todos los datos de partida para conocer la cantidad de energía procedente del sol se puede generar en la zona objeto de estudio se ha accedido a la base de datos PVGIS de donde se han descargado tanto valor a escala temporal mensual como diaria.

i. Condicionantes previos.

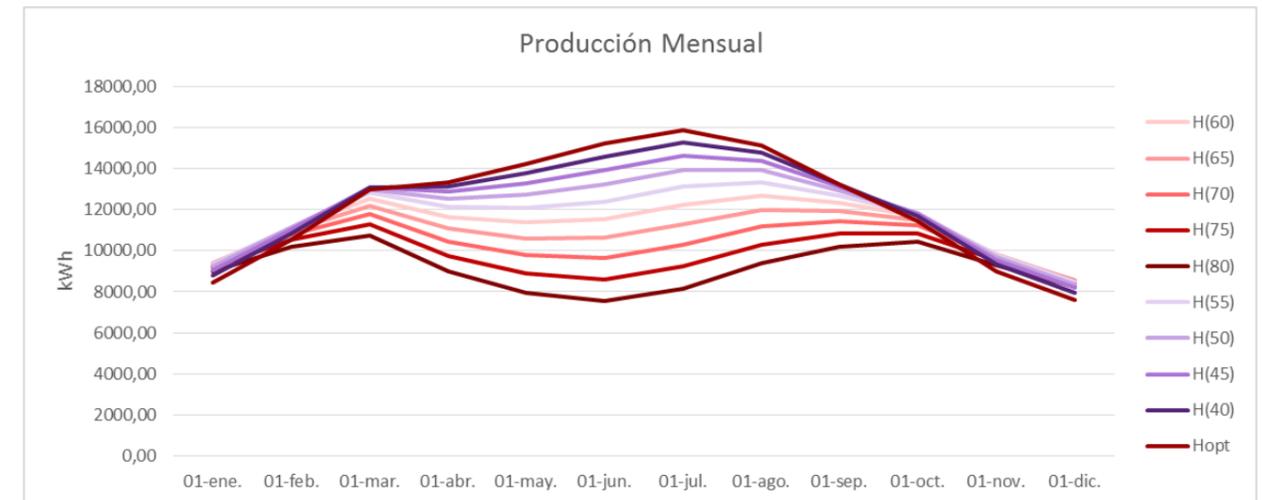
Antes de comenzar a mostrar gráficas y valores del tratamiento de los datos facilitados por la base de datos es necesario comentar las consideraciones y factores considerados en este caso de estudio, para obtener las gráficas energéticas y de potencia.

Consideraciones realizadas:

- Superficie de techo útil: 906'38 m²
- Días laborables: 22 días
- Jornada laboral: 7:00h – 19:00h
- Rendimiento placa: 16'3 %
(Variable en función del tiempo, consultar "Anejo Fichas Técnicas")
- Rendimiento sistema: 75 %

ii. Producción Mensual.

Dadas las condiciones propuestas a continuación se presentan dos gráficas en las que se muestra la energía mensual (primera) y la potencia mensual (segunda) para distintos grados de inclinación de los paneles solares:

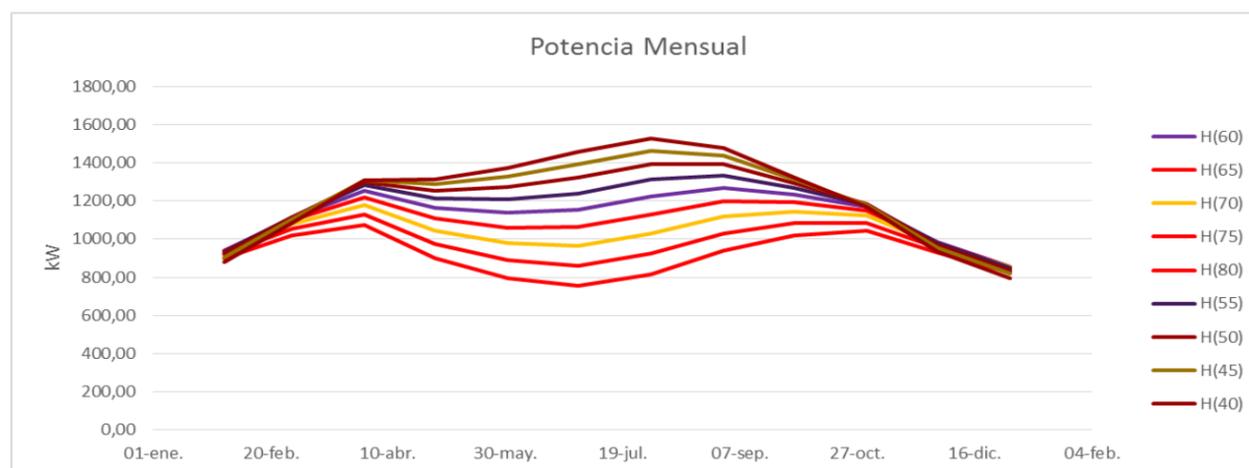


Gráfica 6. Producción de energía Mensual.

A la luz de estas gráficas se pueden observar varias cosas. La primera de ellas es que a mayor inclinación de ángulo se genera una energía sensiblemente menor. También se puede apreciar que a menor inclinación de ángulo se produce mucha más energía en los meses de verano que en los de invierno por lo que se aprovecha más cuando el sol está en su estación más productiva; y viceversa, en los meses de invierno hay mayor producción cuando el panel está más inclinado, por lo que se aprovechar mejor cuando escasean las horas de sol. En este caso de estudio y dado que se tiene una demanda considerable en meses de invierno, no se va a optar por el **ángulo óptimo (35º)** sino por uno un poco mayor **45º** con el fin de no producir energía en exceso en verano y escasear demasiado en invierno.

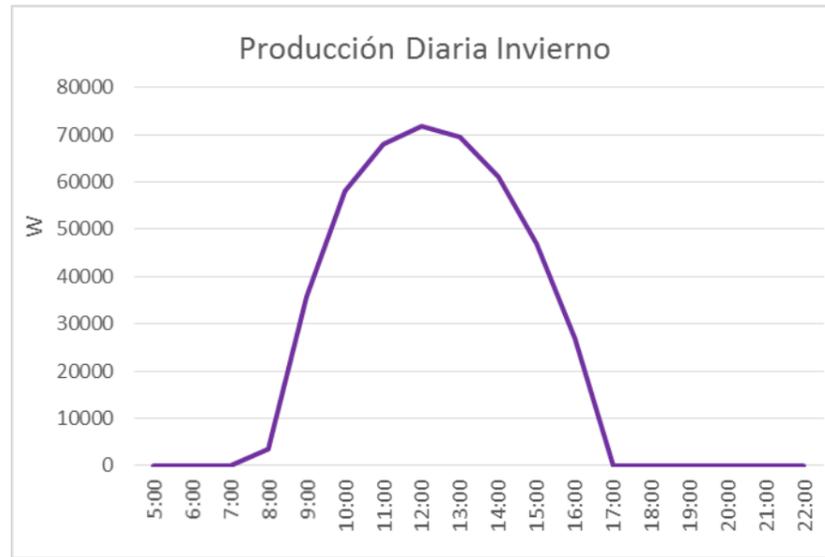
iii. Producción diaria.

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, el ángulo más favorable para este caso es de 45º, por lo que las producciones diarias mostradas van a ser únicas considerando exclusivamente esta inclinación. Puesto que la demanda posteriormente se caracterizará en 4 tipos distintos, se va a mostrar a continuación las 4 demandas tipos de producción representativas de las cuatro estaciones del año. (Es necesario destacar que, aunque ahora solo se van a mostrar los 4 tipos de producción comentados, más adelante para la sección del "Estudio Económico" sí que se van a obtener las curvas de producción diaria en función del mes considerado.)



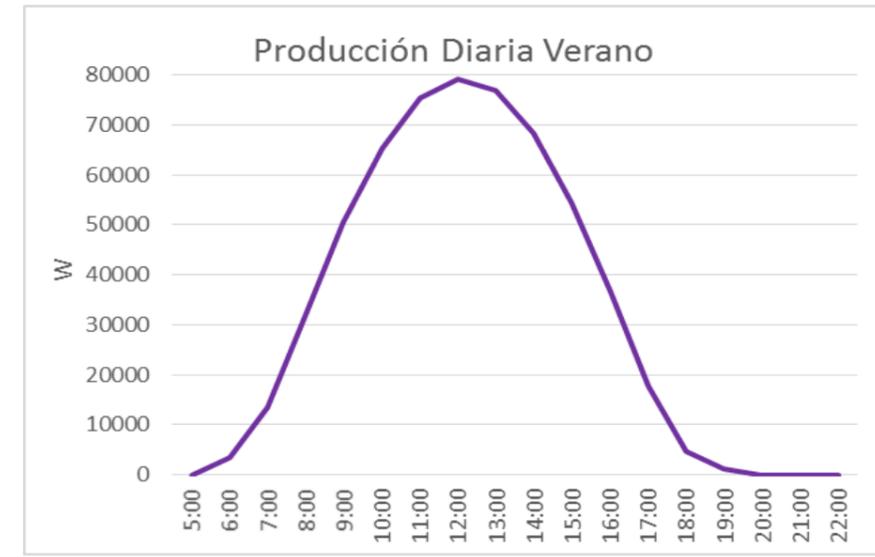
Gráfica 5. Potencia Mensual.

Invierno



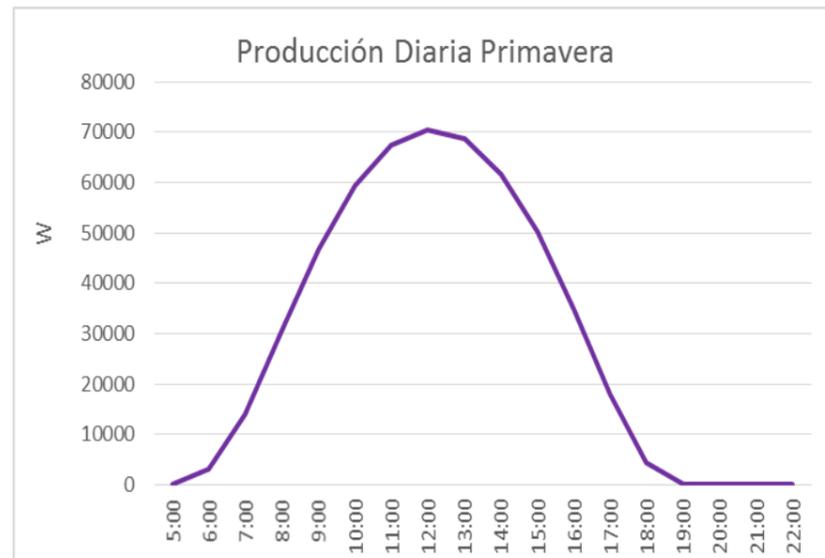
Gráfica 7. Producción Diaria Invierno.

Verano



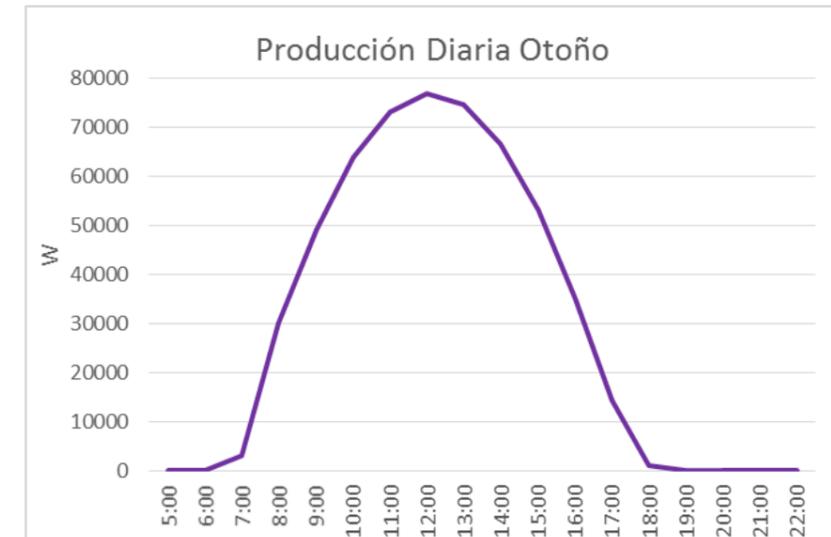
Gráfica 9. Producción Diaria Verano.

Primavera



Gráfica 8. Producción Diaria Primavera.

Otoño



Gráfica 10. Producción Diaria Otoño.

El efecto fotovoltaico (FV) es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas.

Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV. Pueden ser reflejados o absorbidos, pueden pasar a su través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad.

Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

Las partes más importantes de la célula solar son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentes dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en otra. Cuando la luz solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Es por ello que estas células se fabrican partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que actúan como aislantes a baja temperatura y como conductores cuando se aumenta la energía.

Desdichadamente no hay un tipo de material ideal para todos los tipos de células y aplicaciones.

Además de los semiconductores las células solares están formadas por una malla metálica superior u otro tipo de contrato para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. También en la parte superior de la célula hay un vidrio u otro tipo de material encapsulado transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa antireflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

Las células FV convierten pues, la energía de la luz en energía eléctrica. El rendimiento de conversión, esto es, la proporción de luz solar que la célula convierte en energía eléctrica, es fundamental en los dispositivos fotovoltaicos, ya que el aumento del rendimiento hace de la energía solar FV una energía más competitiva con otras fuentes.

Estas células conectadas unas con otras, encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conforman un módulo fotovoltaico. Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 o 24 V). La corriente producida depende del nivel de insolación.

La estructura del módulo protege a las células del medio ambiente y son muy durables y fiables.

Aunque un módulo puede ser suficiente para muchas aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un generador FV. Los generadores o módulos fotovoltaicos producen corriente continua (DC) y pueden ser conectados en serie o en paralelo para poder producir cualquier combinación de corriente y tensión. Un módulo o generador FV por sí mismo no bombea agua o ilumina una casa durante la noche.

Para ello es necesario un sistema FV completo que consiste en un generador FV junto a otros componentes, conjuntamente conocidos como "resto del sistema" o BOS (del inglés balance of system). Estos componentes varían y dependen del tipo de aplicación o servicio que se quiere proporcionar. Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar como autónomos o conectados a la red eléctrica. En definitiva y cómo podemos ver, nos encontramos ante una fuente de energía, que además de renovable

se nos presenta como una clara apuesta de futuro de cara al planteamiento energético en los próximos años.

Los módulos fotovoltaicos o colectores solares fotovoltaicos (llamados a veces paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (Células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación de 1000 W/m²
- Temperatura de célula de 25° C (no temperatura ambiente)

Una vez explicada la tecnología mediante la cual se consigue la energía proveniente del sol, así como su elemento principal de conversión de luz solar en electricidad, es momento de comentar las gráficas obtenidas de producción. Todos los datos han sido obtenidos del *PVGis*, donde se obtiene la potencia incidente en función de la superficie (W/m²). Se han dividido las gráficas en cuatro estaciones representativas del año para apreciar la diferenciación entre ellas.

Como es esperable, en la zona mediterránea donde se realiza el estudio hay una clara diferencia de producción entre la estación de verano y la de invierno. Es necesario comentar que estas cantidades de producción se obtendrían en el caso de que se llenarán los 900m² de la nave de módulos solares; más adelante veremos que esta no es la solución más eficiente, pero por el momento para observar si es posible cubrir la demanda de la industria con capacidad de producción de la zona bastará.

Una vez que se tiene en consideración el orden de magnitud de producción es posible comenzar a comparar la demanda, pero primero es necesaria explicar su caracterización.

V. Demanda eléctrica.

Como ya se explicó en el apartado “Antecedentes” la demanda real de la nave industrial es insuficiente para el caso de estudio que se pretende estudiar, pues debido a un cambio de uso de la nave, ésta va a experimentar un consumo mucho más elevado. Puesto que la demanda industrial tiene un elevado consumo en este apartado se pretende justificar y caracterizar la demanda eléctrica que va a considerarse en el presente trabajo.

i. Bases de la demanda industrial.

Actualmente, la demanda energética del sector industrial ronda el valor anual de **150 kW·h/m²/año**. Este va a ser el valor alrededor del cual va a cimentarse la construcción de la demanda considerada en este estudio solar. Es decir, una nave de los m² como la estudiada tendría un consumo total de *135956’34 kWh/año*.

En lo que respecta a la demanda mensual, considerando el valor comentado, en función de los m² se obtendría un valor de *12’5 kWh/m²/mes* y particularizando para la nave “Agustí e Hijos S.L.” el valor alrededor del cual va a construirse la demanda es **11329’695 kW·h/mes**.

Concentrándose en escala temporal diaria, los valores sobre los que debe situarse la demanda considerada son:

- *568’182 W·h/m²/dia.*
- **56’818 W·h/m²/dia.**

ii. Caracterización de la demanda.

Una vez justificados y explicados los valores sobre los cuales va a rondar la demanda ficticia, aunque fácilmente real, sobre los que va a rondar la demanda tipo del sector industrial es momento de definir qué tipo de demanda se va a satisfacer así como sus características.

Se va considerar que la demanda pertenece al sector de la industria material de oficina. En este sector industrial se van a considerar dos demandas. Una de ellas fija, que se corresponde con el uso de maquinaria por parte de los trabajadores para la fabricación, empaquetado, etc.; es decir, el empleo de todos los dispositivos y aparatos necesarios para el desarrollo de la actividad industrial. La otra, va a ser variable en función de la estación del año y va a ir asociada al consumo eléctrico debido a mantener el bienestar y buenas condiciones de trabajo de los empleado de la nave. Va a tener las siguientes características:

- Invierno: Luz + Calefacción.
- Primavera: -
- Verano: Aire acondicionado.
- Otoño: Luz

iii. Representación de la demanda.

Explicada ya la raíz de los valores, se va a pasar a mostrarlos y representarlos en dos escalas temporales: mensual y diaria.

Mensual:

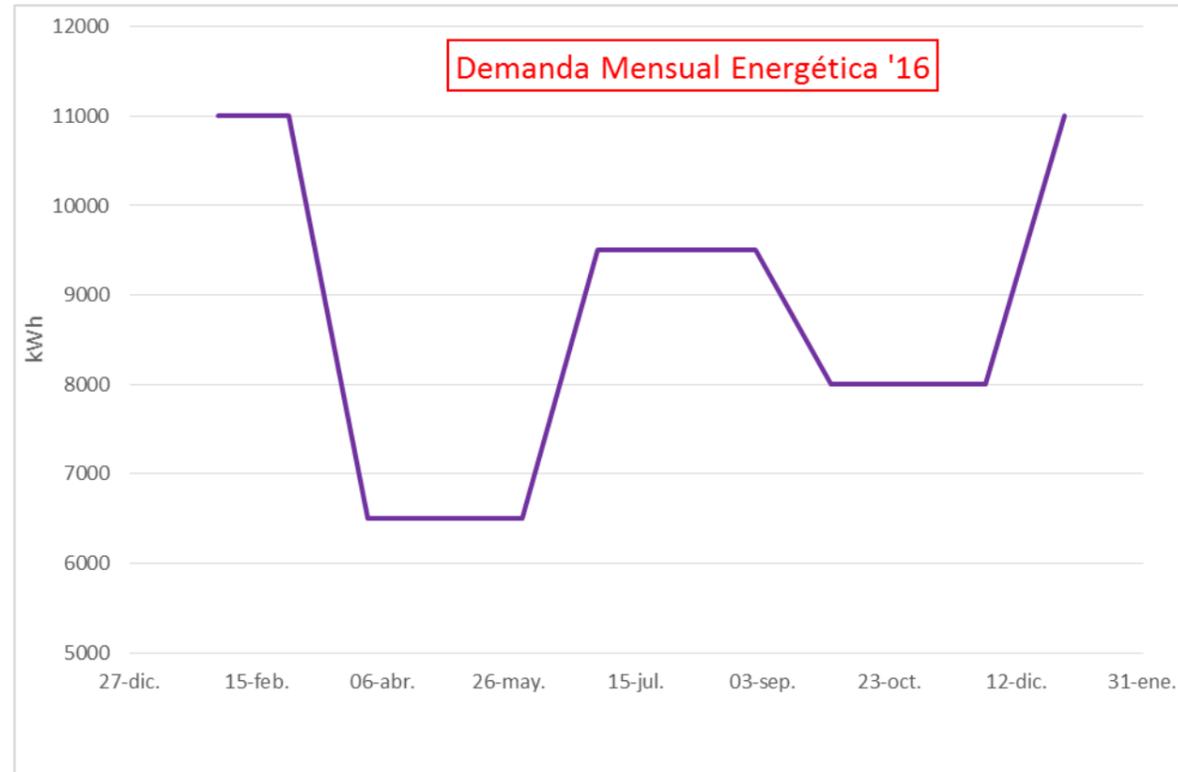
Ejemplo de consumo de una industria textil real (color gris):

Industria Textil		
Consumo de energía mensual		
Mes	kWh	
Ene	11000	985
Feb	11000	1546
Mar	6500	1801
Abr	6500	1550
May	6500	1674
Jun	9500	1982
Jul	9500	1896
Ago	9500	2825
Sep	8000	2509
Oct	8000	2616
Nov	8000	2832
Dic	11000	2074

Tabla 1. Tabla demanda industria textil real (gris) frente demanda considerada.

Demanda mensual considerada para el presente estudio:

Mes	Demanda (kWh)
31-ene	11000
28-feb	11000
31-mar	6500
30-abr	6500
31-may	6500
30-jun	9500
31-jul	9500
31-ago	9500
30-sep	8000
31-oct	8000
30-nov	8000
31-dic	11000
Total año	105000



Gráfica 11. Demanda Mensual.

Invierno D. Mensual 11000 kWh
D. Diaria Media 50000 W/día
D. Unitaria (W) 50000,00 W

Hora	D. Unitaria (W)	W/m ²
5:00	0	0,0
6:00	0	0,0
7:00	0	0,0
8:00	50000	55,2
9:00	50000	55,2
10:00	50000	55,2
11:00	50000	55,2
12:00	50000	55,2
13:00	50000	55,2
14:00	50000	55,2
15:00	50000	55,2
16:00	50000	55,2
17:00	50000	55,2
18:00	50000	55,2
19:00	0	0,0
20:00	0	0,0
21:00	0	0,0
22:00	0	0,0

Primavera D. Mensual 6500 kWh
D. Diaria Media 29545,545 W/día
D. Unitaria (W) 29545,45 W

Hora	D. Unitaria (W)	W/m ²
5:00	0	0,0
6:00	0	0,0
7:00	0	0,0
8:00	29545,45455	32,6
9:00	29545,45455	32,6
10:00	29545,45455	32,6
11:00	29545,45455	32,6
12:00	29545,45455	32,6
13:00	29545,45455	32,6
14:00	29545,45455	32,6
15:00	29545,45455	32,6
16:00	29545,45455	32,6
17:00	29545,45455	32,6
18:00	29545,45455	32,6
19:00	0	0,0
20:00	0	0,0
21:00	0	0,0
22:00	0	0,0

Diaria: (Tablas y gráfica demanda diaria en función de la estación)

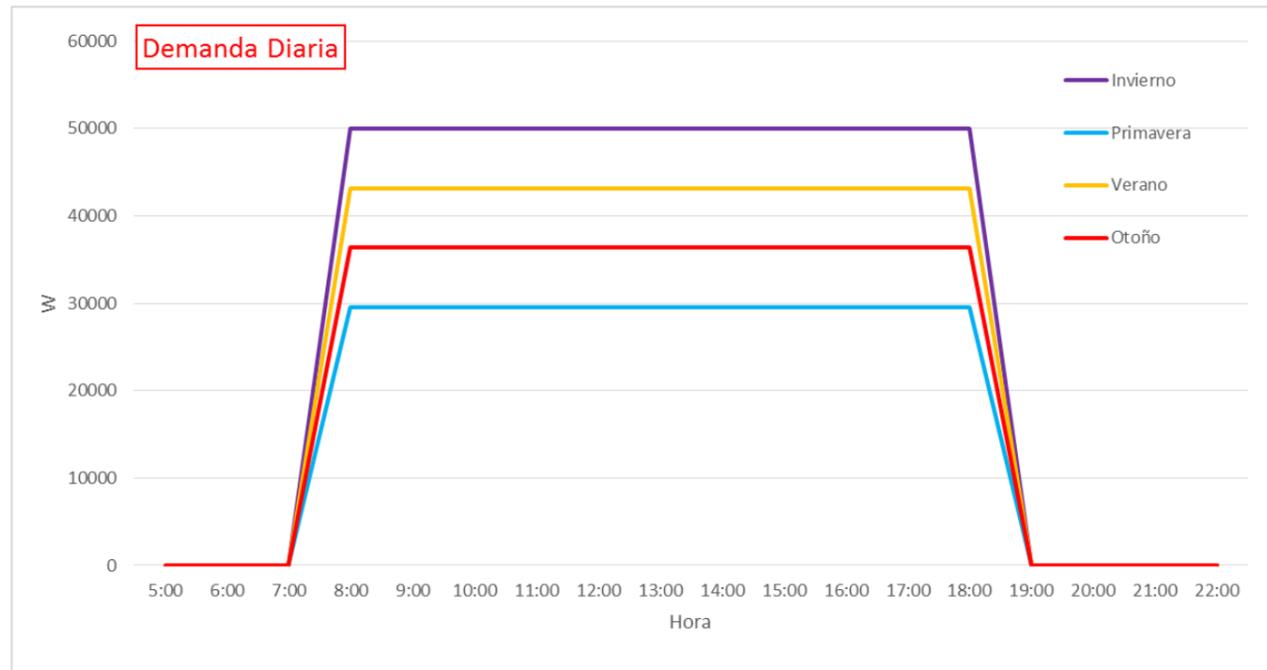
Verano D. Mensual 9500 kWh
D. Diaria Media 43181,81818 W/día
D. Unitaria (W) 43181,82 W

Hora	D. Unitaria (W)	W/m ²
5:00	0	0,0
6:00	0	0,0
7:00	0	0,0
8:00	43181,81818	47,6
9:00	43181,81818	47,6
10:00	43181,81818	47,6
11:00	43181,81818	47,6
12:00	43181,81818	47,6
13:00	43181,81818	47,6
14:00	43181,81818	47,6
15:00	43181,81818	47,6
16:00	43181,81818	47,6
17:00	43181,81818	47,6
18:00	43181,81818	47,6
19:00	0	0,0
20:00	0	0,0
21:00	0	0,0
22:00	0	0,0

Otoño D. Mensual 8000 kWh
D. Diaria Media 36363,63636 W/día
D. Unitaria (W) 36363,64 W

Hora	D. Unitaria (W)	W/m ²
5:00	0	0,0
6:00	0	0,0
7:00	0	0,0
8:00	36363,63636	40,1
9:00	36363,63636	40,1
10:00	36363,63636	40,1
11:00	36363,63636	40,1
12:00	36363,63636	40,1
13:00	36363,63636	40,1
14:00	36363,63636	40,1
15:00	36363,63636	40,1
16:00	36363,63636	40,1
17:00	36363,63636	40,1
18:00	36363,63636	40,1
19:00	0	0,0
20:00	0	0,0
21:00	0	0,0
22:00	0	0,0

Una vez representados los valores mostrados en las tablas anteriores, el gráfico resultante es el siguiente:



Gráfica 12. Demanda Diaria.

Dado el tipo de mercado y demanda esperada, la nave tiene los picos de producción de épocas que preceden una fuerte compra de este tipo de material. Es por ello que en verano, que precede el comienzo de las clases y vuelta al trabajo, y en invierno, que antecede el cambio de semestre en las universidades y, además, está la navidad, son las dos estaciones fuertes de la empresa.

Comparándola con las gráficas de producción anteriores se puede observar que, más o menos, rondan los mismos valores. Pero, se pueden apreciar algunas horas clave. A primera hora de la mañana y última de las horas de sol, se produce energía que no se aprovecha pues la jornada laboral no dura lo mismo que las horas de sol. Por el contrario, al comienzo y fin de la jornada laboral el pico de demanda es muy superior a la potencia solar en esas horas. Por último, en las horas de máxima irradiación, donde se alcanzan los picos de producción solar, es muy superior a la demanda existente, por lo que se estaría derrochando energía, aunque, posteriormente, se mostrará que esta energía sobrante puede ser utilizada de varias formas con el fin de maximizar la eficiencia de la producción.

VI. Instalación solar.

i. Consideraciones previas y descripción de las alternativas.

En el presente estudio realizado se han tenido en cuenta los siguientes condicionantes relativos a todas las alternativas:

- La instalación diseñada, al tratarse de una industria de alto consumo que no puede permitirse una independencia total de la red, se diseñará una instalación conectada a la red.
- En todos los casos y tras realizar un estudio de mercado se va a emplear un Módulo Solar Policristalino 265V (60 células). El principal motivo es su economía puesto que los rendimientos actuales de los módulos son muy similares. Las características se muestran de forma detallada en el "Anejo Fichas Técnicas".
- Instalación diseñada: Módulo - Inversor - Soporte
- Se considera que las placas son fijas orientadas.

- Condicionantes de diseño:
 - Potencia de producción instalada: La potencia con la que se seleccionará el inversor va aquella que se pueda producir no la requerida por la demanda.
 - Dimensiones del tejado: Se instalarán los paneles de forma que puedan instalarse físicamente en la capacidad de metros cuadrados que proporciona la nave industrial.
 - Dimensionado inversor:
 - Limitación por **tensión – Módulos en serie**:
 - Limitación por máxima tensión (cond. frío)
 - Máx tensión admisible por frío en circuito abierto (condiciones pésimas); $V_{oc}(T_{min})$.
 - Máx tensión en funcionamiento óptimo por frío; $V_{máx}(T_{min})$.
 - Limitación por mínima tensión (cond. calor)
 - Mín tensión en funcionamiento óptimo por calor; $V_{min}(T_{max})$.
 - Limitación por **intensidad – Módulos en paralelo**:
 - Limitación por la máxima intensidad que puede tener el inversor en las condiciones pésimas (corto circuito y calor). *Coefficiente de seguridad 10A.*
 - Max intensidad admisible con max irradiancia y máxima temperatura en corto circuito; $I_{sc}^{max}(T_{max})$.

- A continuación se muestra un extracto teórico de las fórmulas utilizadas en este estudio, obtenidas de los apuntes de la asignatura "Aprovechamientos hidráulicos y energéticos" (T3. Energías renovables Energía Solar) del profesor Miguel Ángel Pérez Martín:

Cálculo de la máxima potencia en función de la irradiación y la temperatura

$$V_{mpp} = V_{mpp}^{STC} + (T - T^{STC}) \mu_V$$

Tensión óptima en condiciones reales. Influencia sólo de la temperatura

$$I_{mpp} = \frac{S}{S^{STC}} I_{mpp}^{STC} + (T - T^{STC}) \mu_A$$

Intensidad óptima en condiciones reales. Influencia de la irradiancia. (+poca influencia de la temperatura)

$$P_{mpp} = V_{mpp} \cdot I_{mpp} = \frac{S}{S^{STC}} P_{mpp}^{STC} + (T - T^{STC}) \left(\frac{S}{S^{STC}} \mu_V I_{mpp}^{STC} + \mu_A V_{mpp}^{STC} \right) + (T - T^{STC})^2 \mu_V \mu_A$$

Potencia óptima en condiciones reales

La potencia en cada instante depende de la irradiación y de la temperatura

Valores de referencia de un módulo solar

PV specified parameter	Value
V_{oc}^{STC}	28.5V
I_{sc}^{STC}	7.81A
P_{mpp}^{STC}	220W
μ_V	-0.14%/°C
μ_A	0.0018%/°C

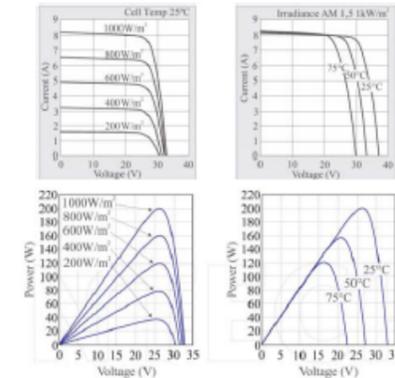


Ilustración 1. Cálculo intensidad y tensión en condiciones reales.

Diseño de la instalación solar

Disposición de células en serie y en paralelo.

- 1) Células en serie: igual intensidad aumento de tensión en cada célula (línea)
- 2) Líneas en paralelo: igual tensión suma de intensidades.

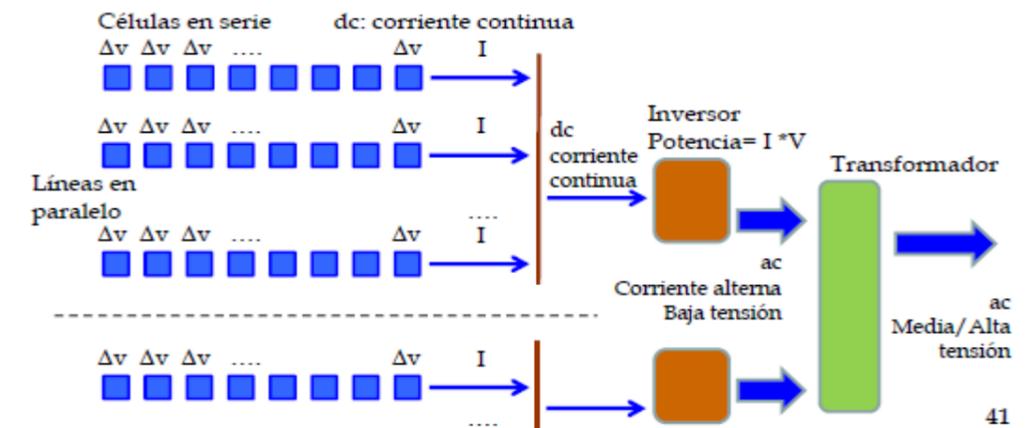


Ilustración 2. Croquis disposición células solares.

Dimensionado Inversor. Limitación por tensión



Definir el nº de módulos en serie, para obtener la tensión mínima de funcionamiento de inversor y la tensión máxima del inversor

$$T^{STC} = 25^{\circ}C$$

$$T_{\min} = -5^{\circ}C$$

$$T_{\max} = 60^{\circ}C$$

N_s : número de módulos en serie

Limitación por máxima tensión (en condiciones de frío)

Máx tensión admisible por frío en circuito abierto (condiciones pésimas)
< Tensión máxima admisible $V_{\max DC}$

$$V_{oc}(T_{\min}) = N_s \cdot (V_{oc}^{STC} + (T_{\min} - T^{STC}) \cdot \mu_v)$$

Máx tensión en funcionamiento óptimo por frío.
< Tensión máxima de funcionamiento óptimo $V_{\max DC}$ (MPP)

$$V_{\max}(T_{\min}) = N_s \cdot (V_{mpp}^{STC} + (T_{\min} - T^{STC}) \cdot \mu_v)$$

Limitación por mínima tensión (en condiciones de calor)

Mín tensión en funcionamiento óptimo por calor.
> Tensión mínima funcionamiento óptimo $V_{\min DC}$ (MPP)

$$V_{\min}(T_{\max}) = N_s \cdot (V_{mpp}^{STC} + (T_{\max} - T^{STC}) \cdot \mu_v)$$

42

Ilustración 3. Limitación por tensión.

Una vez comentados todos los aspectos y consideraciones referentes al diseño de cada una de las alternativas, es momento de indicar cuáles han sido las alternativas consideradas. En todas ellas se considera el mismo tipo de soporte/anclaje. En principio se habían considerado tres alternativas pero tras realizar un análisis de sensibilidad del estudio económico se ha decidido añadir una 4ª pues es la óptima y se considera que se debe mostrar su diseño en este apartado. El criterio para elegir varias alternativas ha sido la cantidad de metros cuadrados que ocupan en el techo de la nave industrial, así pues:

- Módulos solares en el 100% del techo.
- Módulos solares en 4/5 del techo.
- Módulos solares en 3/4 del techo.
- Módulos solares en 1/2 del techo.

Dimensionado Inversor. Limitación por intensidad



Limitar por la máxima intensidad que puede tener el inversor en las condiciones pésimas (corto circuito y calor)

Coefficiente de seguridad 10 A

N_p : número de módulos en paralelo

Máx intensidad admisible: con máxima irradiancia y máxima temperatura en corto circuito.

< Intensidad máxima de funcionamiento $I_{\max DC}$

$$I_{sc}^{\max}(T_{\max}) = N_p \cdot (I_{sc}^{\max} + (T_{\max} - T^{STC}) \cdot \mu_A)$$

$$I_{sc}^{\max} = \frac{S^{\max}}{S^{STC}} I_{sc}^{STC}$$

Intensidad máxima en corto circuito

Comprobación no se supere la potencia máxima

$$P_{\max} \text{ inversor} \geq N_p \cdot (N_s \cdot P_{\max} \text{ modulo})$$

$$\Rightarrow N_p = \frac{P_{\max} \text{ inversor}}{N_s \cdot P_{\max} \text{ modulo}}$$

43

Ilustración 4. Limitación por intensidad.

ii. Diseño de las distintas alternativas.

En este apartado se van a mostrar los resultados de producción de cada una de las alternativas planteadas y los elementos que las componen (excepto el anclaje al que se le dedicará un subapartado entero), mostrando valores representativos y comparables entre sí. Finalmente, se representarán gráficas comparativas de producción energética solar para cubrir la demanda descrita en un capítulo anterior. Es necesario comentar que todos los detalles referentes a los inversores utilizados se muestran en el "Anejo Fichas Técnicas".

• **Módulos solares en el 100% del techo.**

Las condiciones óptimas en condiciones reales (por célula) son:

Óptimos en condiciones reales	
	STP265
V_{mpp}	33,7951516
I_{mpp}	1,87627271
P_{mpp}	63,4089205
$V_{oc} (T_{min})$	59,25
$V_{máx} (T_{min})$	39,1081
$V_{min} (T_{max})$	23,5156
$I_{máx} (T_{máx})$	9,382604

Intervalo Módulos en Serie	
El inversor trabaja -->	
330	700
V_{mpp}	37,8
Módulos Mín	9
Módulos Máx	19

$V_{máx} (T_{min})$	39,1081
Módulos Mín	9
Módulos Máx	18
$V_{min} (T_{max})$	23,5156
Módulos Mín	15
Módulos Máx	30

Módulos en Paralelo	
El inversor trabaja -->	
196 Acc	
$I_{máx} (T_{máx})$	9,382604
Total Módulos	21
I_{mpp}	9,02
Total Módulos	22

Los condicionantes técnicos son:

Resumen técnico alternativa:

Potencia generada	79.23 kW
Inversor Seleccionado	Sirio K80
Intervalo Potencia	80 – 88 kW
Módulos en Serie	15
Módulos en Paralelo	21
Total Módulos	315
Potencia instalada	83.5 kW

Croquis en planta de la alternativa:

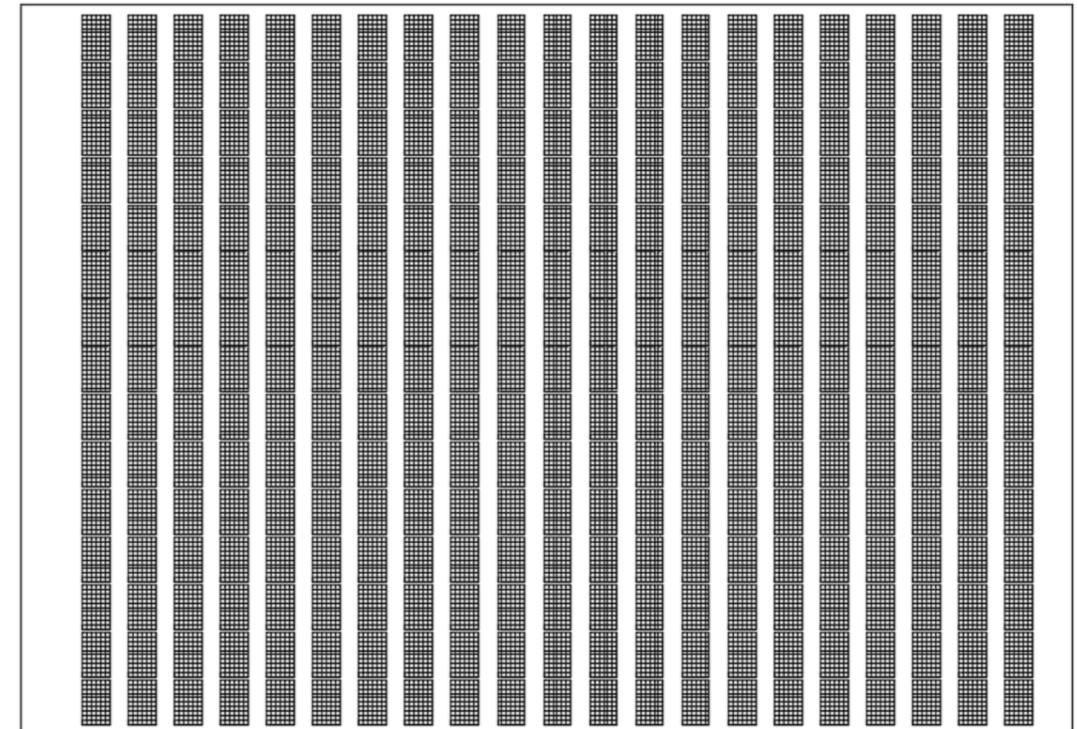


Imagen 6. Planta techo de la nave industrial.

• **Módulos solares en 4/5 del techo.**

Las condiciones óptimas en condiciones reales (por célula) son:

Óptimos en condiciones reales	
	STP265
V _{mpp}	33,7951516
I _{mpp}	1,87627271
P _{mpp}	63,4089205
V _{oc} (T _{min})	59,25
V_{máx} (T_{min})	39,1081
V_{min} (T_{max})	23,5156
I_{máx} (T_{máx})	9,382604

Los condicionantes técnicos son:

Intervalo Módulos en Serie	
El inversor trabaja -->	
	330 700
V _{mpp}	37,8
Módulos Mín	9
Módulos Máx	19
V _{máx} (T _{min})	39,1081
Módulos Mín	9
Módulos Máx	18
V _{min} (T _{max})	23,5156
Módulos Mín	15
Módulos Máx	30
Módulos en Paralelo	
El inversor trabaja -->	
	205 Acc
I _{máx} (T _{máx})	9,382604
Total Módulos	22
I _{mpp}	9,02
Total Módulos	23

Resumen técnico alternativa:

Potencia generada	63.38 kW
Inversor Seleccionado	Sirio K64
Intervalo Potencia	64 – 71 kW
Módulos en Serie	11
Módulos en Paralelo	22
Total Módulos	242
Potencia instalada	64.13 kW

Croquis en planta de la alternativa:

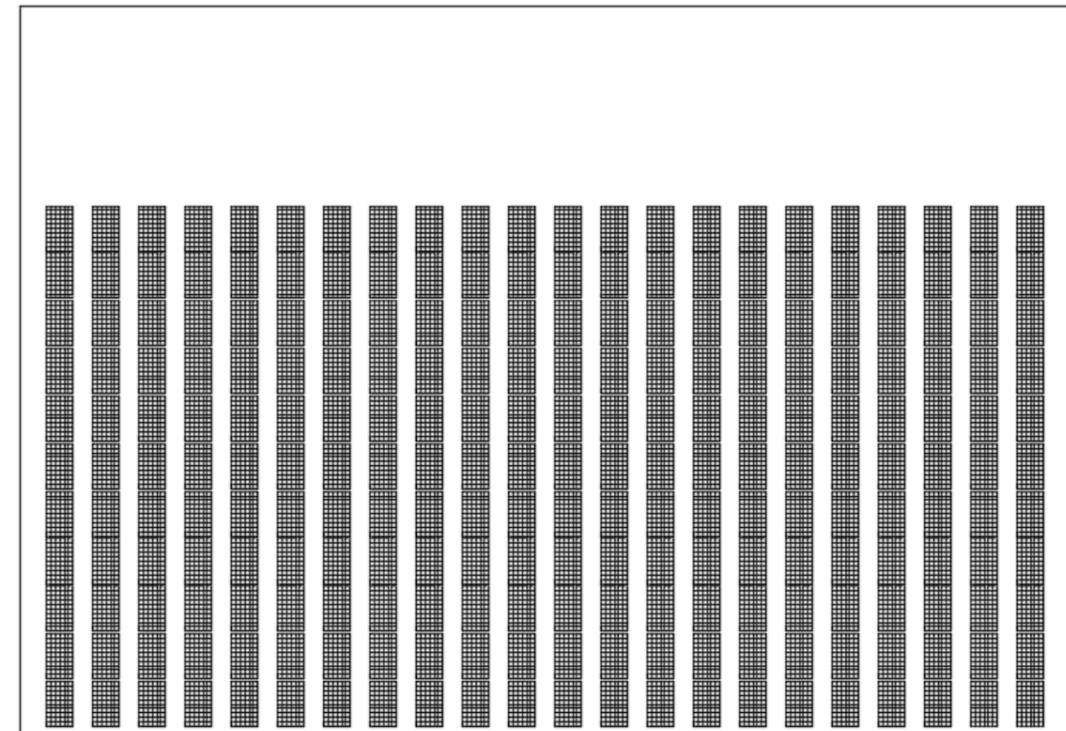


Imagen 7. Planta techo nave industrial ocupada con 4/5 módulos.

• **Módulos solares en 3/4 del techo.**

Las condiciones óptimas en condiciones reales (por célula) son:

Óptimos en condiciones reales	
	STP265
V _{mpp}	33,7951516
I _{mpp}	1,87627271
P _{mpp}	63,4089205
V _{oc} (T _{min})	59,25
V_{máx} (T_{min})	39,1081
V_{min} (T_{max})	23,5156
I_{máx} (T_{máx})	9,382604

Los condicionantes técnicos son:

Intervalo Módulos en Serie	
El inversor trabaja -->	
	330 700
V _{mpp}	37,8
Módulos Mín	9
Módulos Máx	19
V _{máx} (T _{min})	39,1081
Módulos Mín	9
Módulos Máx	18
V _{min} (T _{max})	23,5156
Módulos Mín	15
Módulos Máx	30
Módulos en Paralelo	
El inversor trabaja -->	
	205 Acc
I _{máx} (T _{máx})	9,382604
Total Módulos	22
I _{mpp}	9,02
Total Módulos	23

Resumen técnico alternativa:

Potencia generada	59.42 kW
Inversor Seleccionado	Sirio K64
Intervalo Potencia	64 – 71 kW
Módulos en Serie	11
Módulos en Paralelo	22
Total Módulos	242
Potencia instalada	64.13 kW

Croquis en planta de la alternativa:

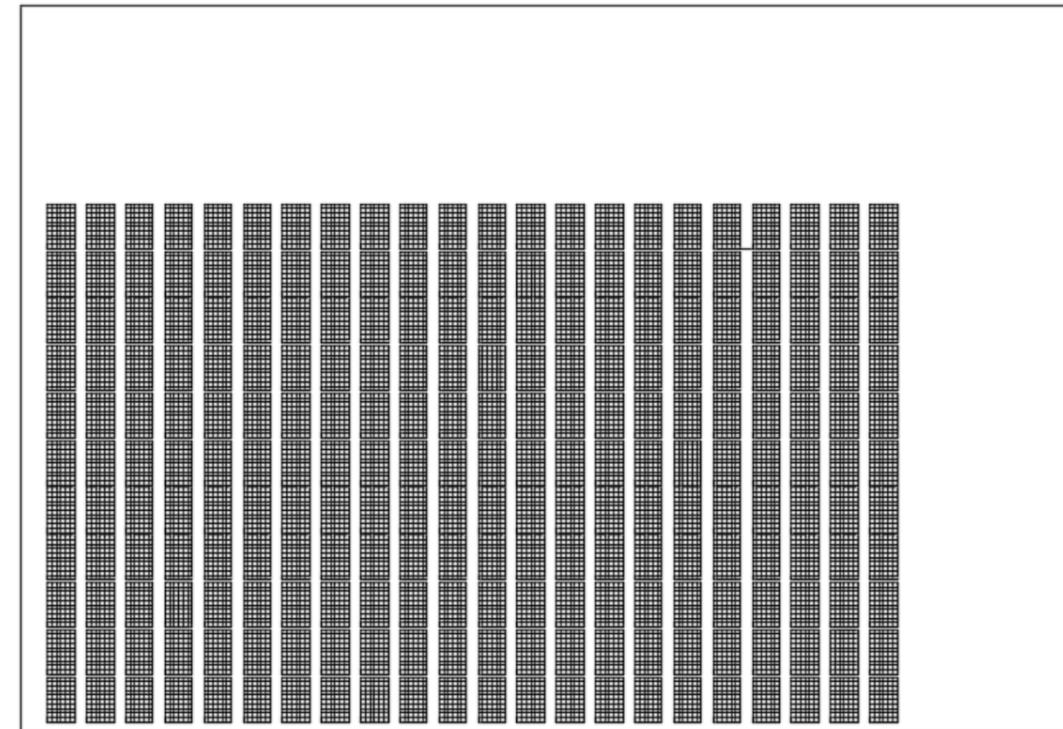


Imagen 8. Planta techo nave industrial ocupado con 3/4 módulos.

• **Módulos solares en 1/2 del techo.**

Las condiciones óptimas en condiciones reales (por célula) son:

Óptimos en condiciones reales	
	STP265
V_{mpp}	33,7951516
I_{mpp}	1,87627271
P_{mpp}	63,4089205
$V_{oc} (T_{min})$	59,25
$V_{máx} (T_{min})$	39,1081
$V_{min} (T_{max})$	23,5156
$I_{máx} (T_{máx})$	9,382604

Los condicionantes técnicos son:

Intervalo Módulos en Serie	
El inversor trabaja -->	
	330 700
V_{mpp}	37,8
Módulos Mín	9
Módulos Máx	19
$V_{máx} (T_{min})$	39,1081
Módulos Mín	9
Módulos Máx	18
$V_{min} (T_{max})$	23,5156
Módulos Mín	15
Módulos Máx	30
Módulos en Paralelo	
El inversor trabaja -->	
	150 Acc
$I_{máx} (T_{máx})$	9,382604
Total Módulos	16
I_{mpp}	9,02
Total Módulos	17

Resumen técnico alternativa:

Potencia generada	39.61 kW
Inversor Seleccionado	Sirio K40
Intervalo Potencia	40 – 44 kW
Módulos en Serie	9
Módulos en Paralelo	17
Total Módulos	153
Potencia instalada	40.54 kW

Croquis en planta de la alternativa:

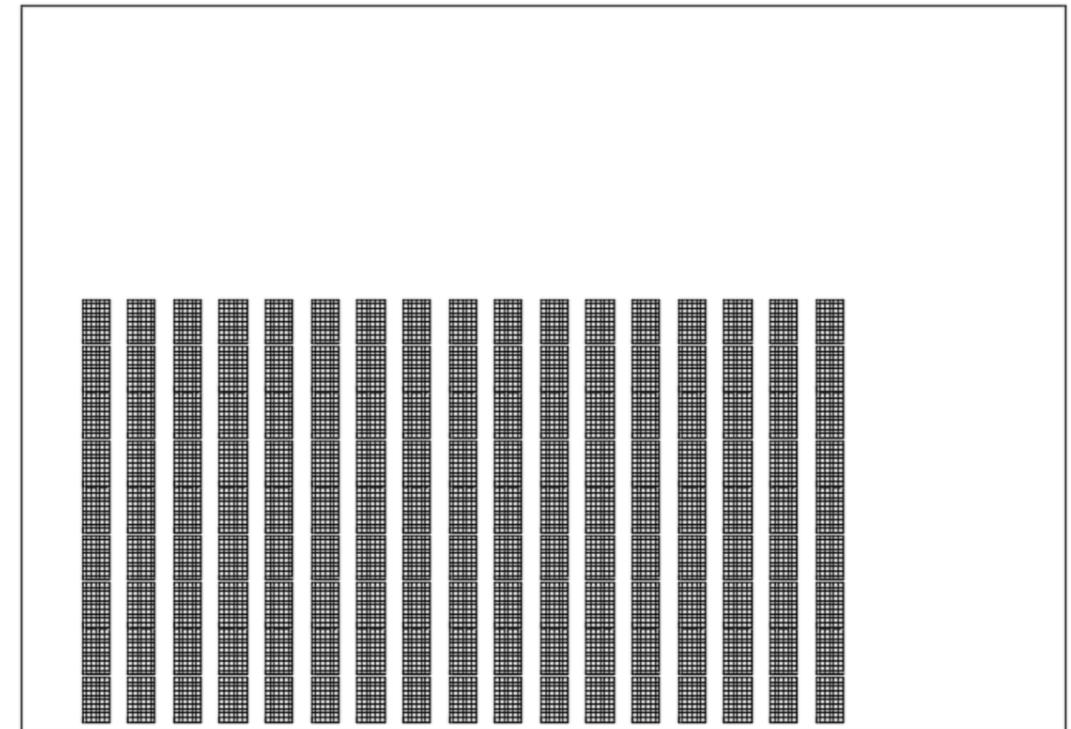
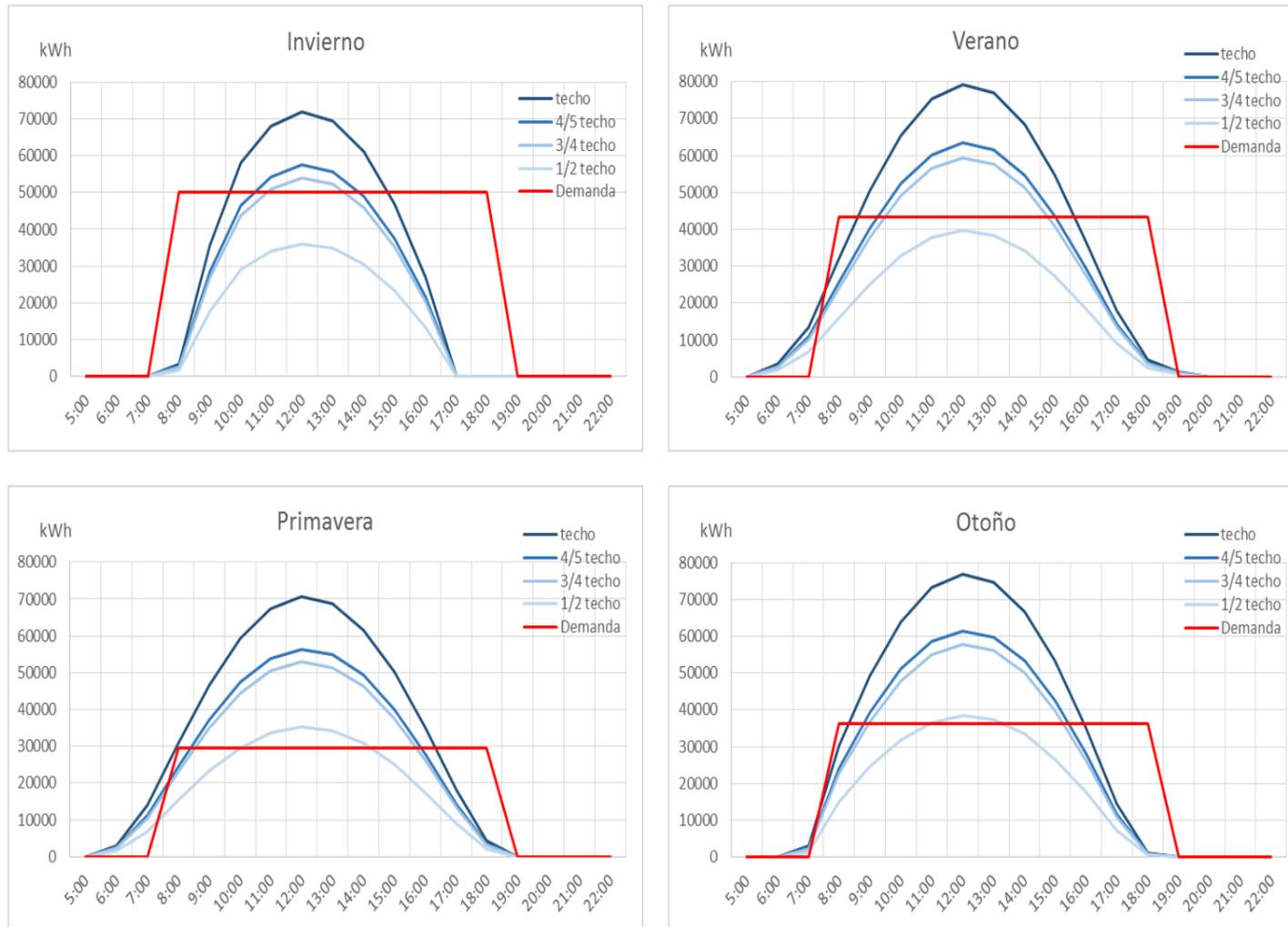


Imagen 9. Planta techo nave industrial ocupado con 1/2 módulos.

Una vez expuestos todos los diseños posibles planteado que más tarde se evaluará su eficiencia económica, pues es el factor más importante en este tipo de instalaciones, a continuación se muestran los resultados de producción de las distintas alternativas, así como, una curva adicional donde se aprecia, a grandes rasgos, la cantidad de energía de la demanda que es capaz de cubrir cada alternativa.

• **Producción Diaria.**



Gráfica 13. Producción Diaria Energética en función de la estación del año de cada alternativa.

A la vista de las gráficas mostradas se observa que la demanda y la producción tienen unas diferencias bien marcadas, que ya se comentaban en el apartado de la demanda.

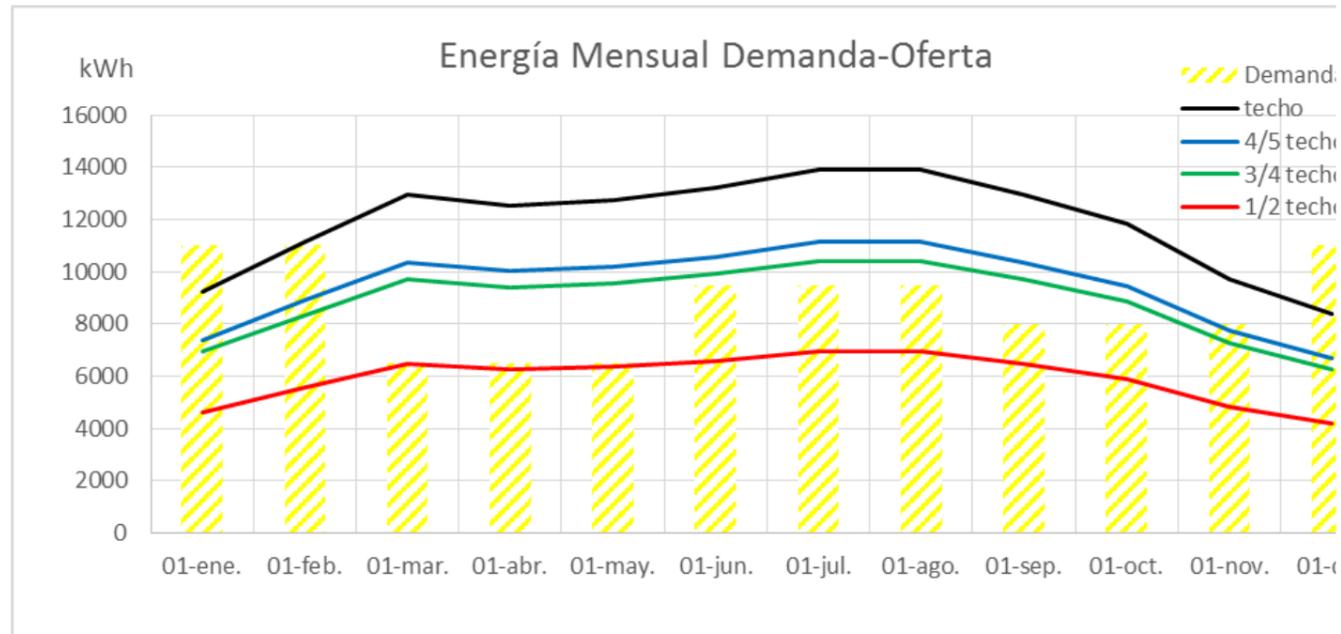
En invierno, dado el clima mediterráneo en el que se encuentra la nave, es la estación de menor producción solar debido a su menor número de horas de solar y potencia alcanzada. En cambio, la demanda es la más alta en esta estación, por ello, como se comentó anteriormente se escogía una inclinación del panel fotovoltaico que no era el óptimo, favoreciendo que en la época de mayor demanda eléctrica se pudiese cubrir el máximo de demanda. Se observa que si se llenase únicamente la mitad del techo de paneles solares, no habría ningún momento del día en el cual se cubriese la demanda; esto no ocurre en el caso de llenar todo el techo de paneles, en este caso, tampoco se cubre toda la demanda, pero se observa que se cubre más del 50% de la misma, teniendo horas en las cuales hay excedente.

En verano, la demanda es similar, un poco más pequeña, pero en este caso la irradiación es mucho mayor que en invierno. Por ello, en este caso, incluso la alternativa de paneles en 3/4 del techo cubre mucho más del 70% de la demanda con varios momentos del día con excedencia de energía. Durante los meses de verano, si se optase por la alternativa de medio techo, seguiría sin alcanzarse el 50% de cobertura de la demanda pero se aprecia que la curva es mucho más ancha que en los meses de invierno con una pequeña excedencia de energía a primera hora del día.

Primera, en principio, parece que es la estación del año en la que la demanda está mejor satisfecha. Aunque, es la estación con los picos de producción solar menores, es también la época del año en la que hay una menor demanda por parte de esta industria, es por ello que incluso con la alternativa que menos se produce, paneles en 1/2 del techo, se cubre más del 50% de la demanda. Las otras alternativas, en cambio, cubren casi toda la demanda y tienen un excedente de energía elevado, por lo que es necesario darle salida de alguna forma a esta energía para no derrochar y sobredimensionar la instalación.

Por último, en los meses de otoño, la producción es muy elevada, incluso mayor que en primavera y con valores muy próximos a los estivales, pero la curva, en cambio, ya no es tan ancha y estirada como en verano y, un poco menos, en primavera, se trata de una curva más estrecha. Esto indica que las horas de sol son más reducidas pero que la potencia de incidencia es muy elevada; por esto, se puede observar que hay mucha energía en exceso en las horas de sol, pero cuando se van a acabar las horas de sol su producción cae muy súbitamente.

- **Producción Mensual.**



Gráfica 14. Producción Mensual Energética de cada alternativa frente a la Demanda de la nave.

En principio, en términos de producción, es la alternativa que mayor cantidad de placas solares pone en el techo la que mayor cantidad de energía genera, algo muy obvio por otra parte. Esto indica que a mayor cantidad de paneles mayor producción.

Por ello es necesario realizar un estudio económico lo más riguroso y detallado posible con el fin de seleccionar aquella alternativa con la que se alcance un óptimo en los 3 aspectos claves: económico – técnico – producción.

Como se observa en la gráfica mensual, todas las alternativas tienen claras deficiencias en meses de invierno (debido principalmente al menor número de horas de sol), por ello, es tan importante volver a mencionar y justificar dos decisiones anteriormente señaladas. Se tratará de una instalación conectada a la red, para mantener el abastecimiento energético necesario, principalmente en esta época del año.

iii. Anclajes.

En este subapartado se ha abordado tanto el diseño y comprobación resistente de los anclajes que soportan la estructura, así como, la estructura sobre la que descansa el panel.

El mercado actual ofrece la posibilidad de adquirir cada una de las piezas que conforman el soporte del módulo, o bien, obtener directamente un soporte ya totalmente montado que sólo requiera el anclaje a la superficie sobre la cual se prevea que se vaya a instalar el soporte. En este estudio se ha optado por la segunda opción, ya que el estudio pretende centrarse en la obtención de energía eléctrica y estudio económico posterior, además la estructura completa conlleva una mayor facilidad.

- Diseño.

Tras realizar un análisis de mercado lo suficientemente exhaustivo se ha seleccionado la estructura de soporte **CVE915** debido a que tiene unas características geométricas y técnicas que se adaptan perfectamente a las exigencias del módulo escogido. En el “*Anejo Fichas Técnicas*” se encuentra una ficha con la información técnica completa de tipo de soporte solar.

Se trata de un soporte hecho de Aluminio *AN AW 6005 A* y consta de los siguiente elementos:

- o Guía módulos.
- o Presor intermedio.
- o Presor lateral.
- o Unión guía módulos.
- o Máxima inclinación 30°.

Como se vio en apartados anteriores, la inclinación de los paneles solares óptima necesaria es de 45°, por lo que estos 30° de máxima inclinación del soporte junto con los 15° del tejado proporcionan los grados recomendables para una producción energética insuperable.

Con estos soportes se puede sujetar 4 módulos solares y su anclaje al techo se realiza mediante una *Unión Atornillada* con tornillos de alta resistencia (TR).



Imagen 10. Soporte solar (izda.). Soporte solar con módulos instalados (dcha.).

- Comprobación resistente.

Para justificar la seguridad del conjunto techo-soporte frente a los posibles eventos de fallo estructural, en este estudio se han contemplado 3 fallos principalmente:

- o Arranque viento.
- o Resistencia unión atornillada techo-soporte.
- o Resistencia sobrecarga de uso del tejado.

Arranque viento. Para realizar una comprobación resistente eficaz, es necesario un estudio previo detallado de las características del viento en la zona estudiada. Por ello, en el “*Anejo Clima*” se incluye el subapartado “*2.4 Viento*”.

o Fuerza viento. Puesto que este cálculo es un fenómeno extremal, se ha considerado la parte correspondiente al percentil 95% de la función de distribución de velocidades, cuyo resultado son 10m/s. Puesto que este viento no parece suficiente se ha optado por buscar información de rachas de viento en *Valencia* en los últimos 10 años, con ello se obtienen rachas de viento en torno a los 90 km/h; dado que este ya es un valor importante se va a utilizar un viento con una velocidad de **25 m/s**. Considerando un densidad del viento de 1.225 kg/m^3 se obtiene un viento con una fuerza de **765'6 N/m²**. Sabiendo que las dimensiones del soporte son $4 \times 1'2 \text{ m}^2$, se obtiene que la sollicitación de cada soporte es de **3'57 kN**.

o Resistencia frente arranque. El peso específico del material de la estructura de sujeción es 2.17 g/m^3 (aleación *Al-Mg-Si*) y se considera un espesor medio de 20 mm . Puesto que el límite elástico del material en cuestión es de $241'316 \text{ MPa}$ la resistencia que hace frente al arranque del viento es de **48.52 kN**. Como se puede apreciar la resistencia de arranque es más de 10 veces superior al viento extremal solicitante, por lo que queda justificada la resistencia frente al arranque del viento. En el “*Anejo Fichas Técnicas*” se exponen las características de resistencia de los soportes, y en referencia al viento, este tipo de estructura aguanta vientos superiores a 29m/s.

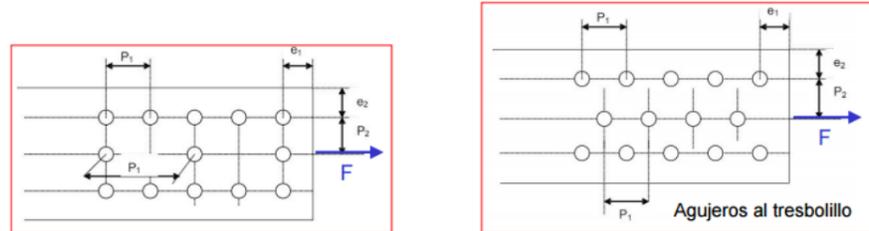
Resistencia unión atornillada techo-soporte. Esta comprobación se ha llevado a cabo siguiendo la formulación y exigencias técnicas de la EAE, en concreto se han seguido los apuntes de la asignatura *AAES de 1º MICCP* concretamente del Tema 13 “*Cálculo de uniones atornilladas*” donde se hace referencia a la instrucción en la que se basa esta comprobación.

En este estudio se ha optado por las siguientes características de la unión para su cálculo:

- o Tornillos: **M16 10.9** (Alta resistencia).
- o Chapa: **S-275 /// #10**
- o Unión Atornillada **Categoría C**. (Tornillos de Alta resistencia. No hay deslizamiento en ELU).
- o Se van a escoger las dimensiones mínimas recomendadas según la siguiente imagen:

DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS (cont.)

DISTANCIAS ENTRE EJES Y A BORDES (EAE ap. 58.4)



Distancias y separaciones	Mínimo obligatorio	Mínimo recomendado	Máximo, ambiente normal	Máximo, intemperie o ambiente corrosivo
e_1	$1,2d_0$	$2d_0$	$125 \text{ mm} \text{ ó } 8t$	$40 \text{ mm} + 4t$
e_2	$1,2d_0$	$1,5d_0$	$125 \text{ mm} \text{ ó } 8t$	$40 \text{ mm} + 4t$
p_1	$2,2d_0$	$3d_0$	Piezas comprimidas: $14t \text{ ó } 200 \text{ mm}$ Piezas traccionadas: $28t \text{ ó } 400 \text{ mm}$ $14t \text{ ó } 200 \text{ mm}$	
p_2	$2,4d_0$	$3d_0$		
m		$2d$		

Métrica tornillo (mm) d	Diámetro agujero (mm) d ₀	Distancias mínimas recomendadas (mm)			
		e ₁	e ₂	p ₁	p ₂
M 12	13	40	20	50	40
M 16	18	55	25	65	55
M 20	22	65	30	80	65
M 22	24	70	35	90	75
M 24	26	80	40	100	80
M 27	30	90	45	115	90
M 30	33	100	50	125	100

d_0 Diámetro del agujero.
 d Diámetro del tornillo.
 t Espesor de la pieza más delgada a unir.

m Distancia del eje del taladro a cualquier superficie paralela a dicho eje.

En el caso de agujeros rasgados, las distancias e_1 , e_2 , p_1 y p_2 se medirán desde los centros de los semicírculos extremos.

AAES – 1º MICCP

TEMA 13 – Cálculo de uniones atornilladas – Parte 1: Tipos de tornillos y disposiciones constructivas

26

Ilustración 5. Disposición de los tornillos en el anclaje soporte-techo.

Siguiendo la formulación mencionada, se han considerado 4 formas de rotura de la unión, aquel que tenga el valor más bajo será el más desfavorable y por tanto el valor máximo que aguanta la unión propuesta:

- **Corte del tornillo:** $F_{v,Rd} = 192'96 \text{ kN}$
- **Aplastamiento de la chapa:** $F_{b,Rd} = 57'53 \text{ kN}$
- **Deslizamiento chapas:** $F_{s,Rd} = 88'00 \text{ kN}$
- **Desgarro chapa:** $F_{ef,Rd} = 182'43 \text{ kN}$

Por tanto, la unión atornillada tiene una resistencia máxima de **57'53 kN**, valor muy superior a los fenómenos solicitantes que actúan en la zona de estudio. Como ya se ha comentado, las solicitaciones a las que tiene que hacer frente esta unión son escasas, pues se encuentra en una zona tranquila de condiciones climáticas no agresivas; destaca el viento como la fuerza más considerable y como se mostró en el "Anejo Climático" los vientos de la zona estudiada no son capaces de superar la fuerza que resiste la unión, por lo tanto queda justificada la resistencia de la unión atornillada.

Resistencia sobrecarga de uso del tejado. Conociendo el peso y dimensiones de cada uno de los módulos y realizando una estimación en referencia al soporte se tiene que el conjunto módulo – soporte tiene un peso de **13'36 kg/m²** (11'19 kg/m² y 2'17 kg/m² respectivamente). Considerando el escenario más desfavorable, que la alternativa de aprovechar el 100% del techo con paneles sea la más eficiente,

se obtiene un peso total sobre el tejado de **6'84 Ton** o traducido a fuerza, el conjunto módulo – soporte ejerce una fuerza sobre el techo de **67'15kN**.

Para realizar la comprobación resistente del tejado de la nave se ha consultado el CTE, en él se propone una tabla con valores característicos que puede resistir el techo en función de sus características.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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

Tabla 2. Valores característicos de las sobrecargas de uso CTE.

Puesto que la nave analizada tiene un techo no transitable, es decir, accesible sólo para conservación con una inclinación de 30°, como se muestra a continuación las cargas solicitantes debido a los paneles solares son mucho menores que los valores característicos por lo que queda comprobada su resistencia.

- Carga Solicitante: **0'21 kN /módulo** < **1 kN**
- 0'07 kN/m²** < **0'4 kN/m²**

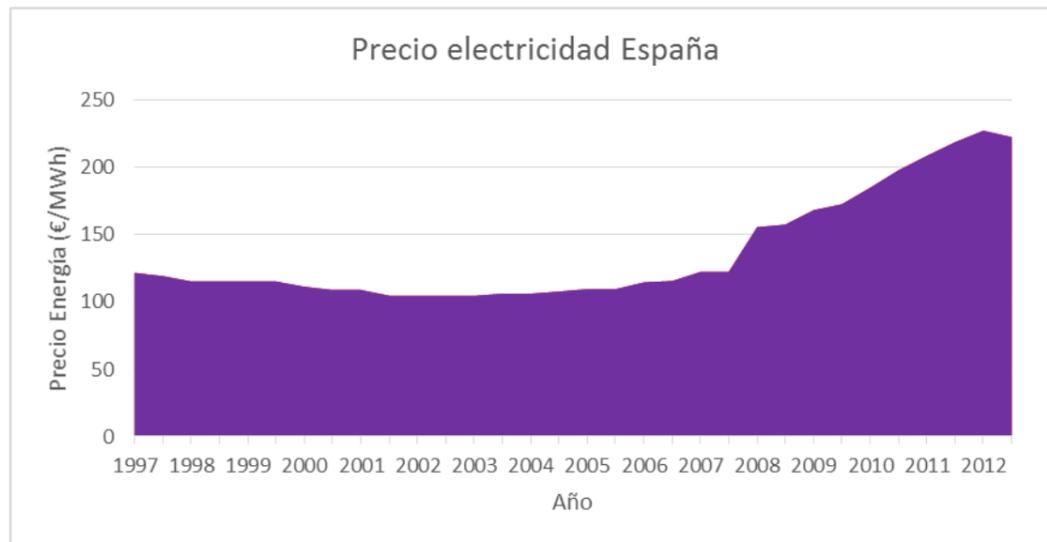
iv. Análisis de precios.

En esta sección se va a realizar una estimación y cálculo lo más aproximado y real de los precios que se manejan en la compra y venta energética en el sistema eléctrico español en la actualidad; así como, del coste que supone emplazar y mantener una instalación fotovoltaica como la estudiada. Este apartado se va a dividir en el estudio de 3 precios:

- o Coste de compra de energía a la Red.
- o Precio Venta.
- o Coste instalación paneles fotovoltaicos.

Coste de compra de energía a la Red. Para la estimación de este parámetro se ha realizado una pesquisa en la cual se ha encontrado dos fuentes fiables:

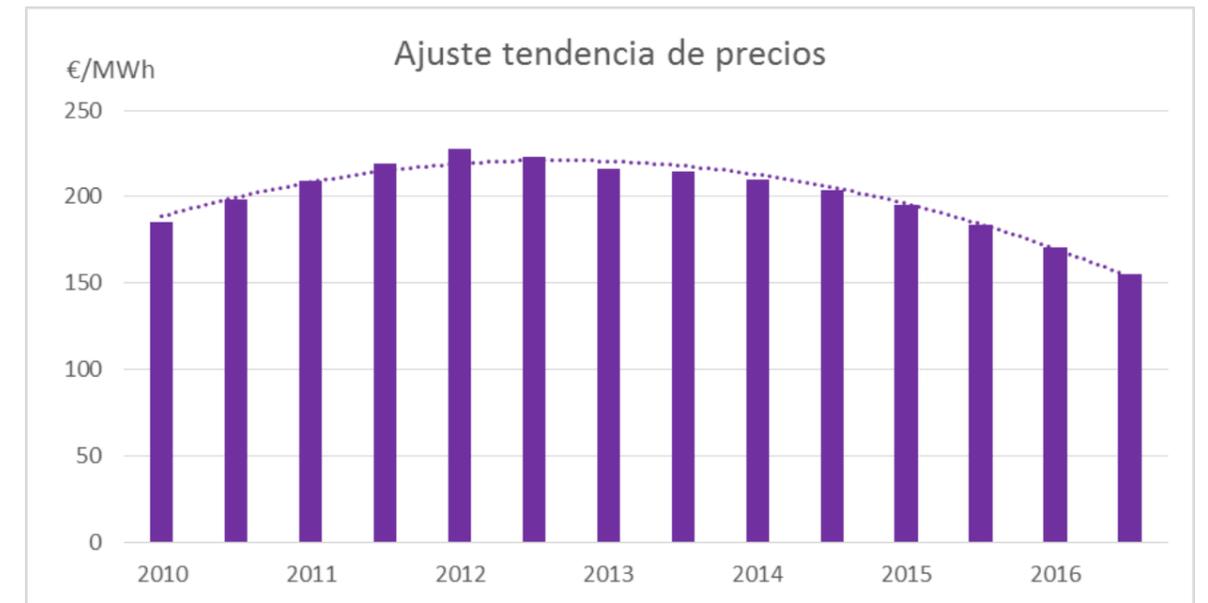
- o La primera de ellas hace referencia a un experto en el mercado energético español, el cual comenta que el precio de compra en el año 2015 era de *0'19197 €/kWh*, o traducido a las unidades que se van a manejar en este análisis **191'97 €/MWh**.
- o La segunda fuente se obtiene a partir de un estudio de precios de compra de energía a la Red realizado por el instituto europeo *Eurostat*. Este estudio se realiza entre los años 1997 – 2012 y se obtiene una gráfica como la que se muestra a continuación:



Gráfica 15. Precio electricidad en España. Fuente Eurostat.

Como se aprecia no hay valores hasta el presente (2016) pero se observa que a partir de mediados del año 2011 el precio comienza a disminuir. Considerando este detalle, la tendencia de los valores y el precio del que habla el experto, se va a realizar una estimación del precio en 2016, ajustando una función desde el año 2010 – 2016 que refleje todos los condicionantes que se ha comentado.

Ajustando una función polinómica de Orden 2 se consigue una tendencia de precios compra como la siguiente:



Gráfica 16. Gráfica de tendencia de precios de compra de energía a la Red.

Se puede apreciar que el año 2015 esta función ajustada cumple con la condición expuesta anteriormente en referencia al comentario del experto. Uniendo el ajuste de tendencia a la gráfica de precios reales anteriores a 2012, se obtiene una gráfica estimada de los precios de compra de energía a la Red que se extiende de 1997 – 2016.

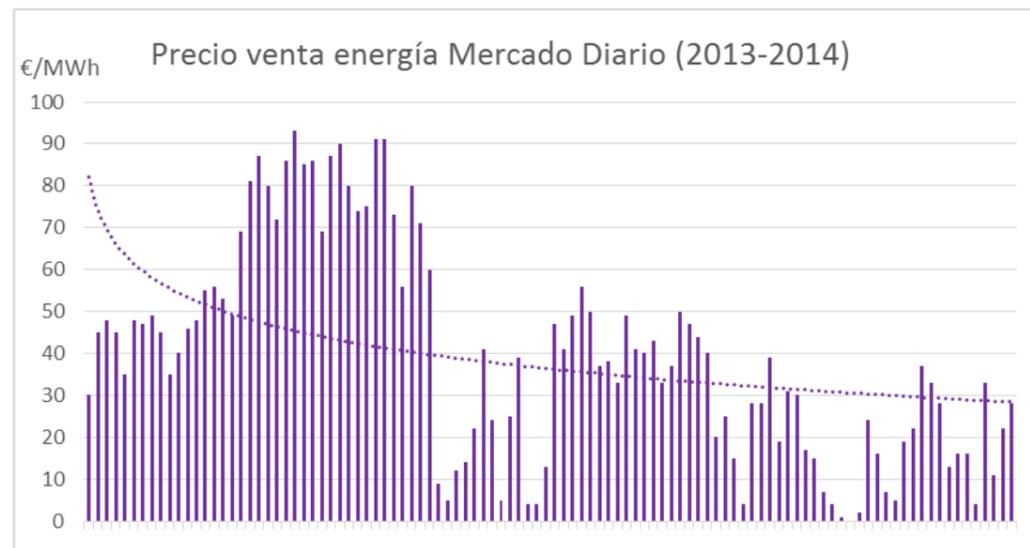


Gráfica 17. Precio electricidad España con estimación hasta 2016.

Finalmente se obtiene el precio de compra que se va a considerar en el posterior análisis económico de las distintas alternativas: **155'2446 €/MWh**

Precio Venta. Al igual que en la sección anterior, para la estimación del precio al que se venderá la energía sobrante proporcionada por los paneles, se va a obtener información de dos fuentes distintas y más tarde se evaluará y analizará los resultados que éstas proporcionen.

o La primera fuente es el *Eurostat*. En ella se presenta una gráfica del precio de venta de energía en el mercado diario durante los años 2013 – 2014. A continuación se presenta una gráfica a la cual se le ha ajustado una función logarítmica que se adapte lo mejor posible a la tendencia de los precios, para conocer un valor medio de precio de venta en el año 2016.



Gráfica 18. Precio venta energía en el mercado diario español. Fuente Eurostat.

Mediante esta fuente se estima un valor de venta en 2016 de **20'81 €/MWh**.

o La segunda fuente, y en este caso mucho más fiable que la anterior es el **Omie**. Éste es el mercado diario e intradiario en el que se produce una compra – venta de energía al por mayor en el marco regional de España y Portugal. Es en este lugar donde las empresas venden su energía mediante subasta y se producen una casación entre las ofertas de venta (generadores) y las ofertas de compra (comercializadores). En la imagen siguiente se esquematiza el proceso seguido por este sistema para vender la energía generada por entes privados que quieren vender en el mercado.

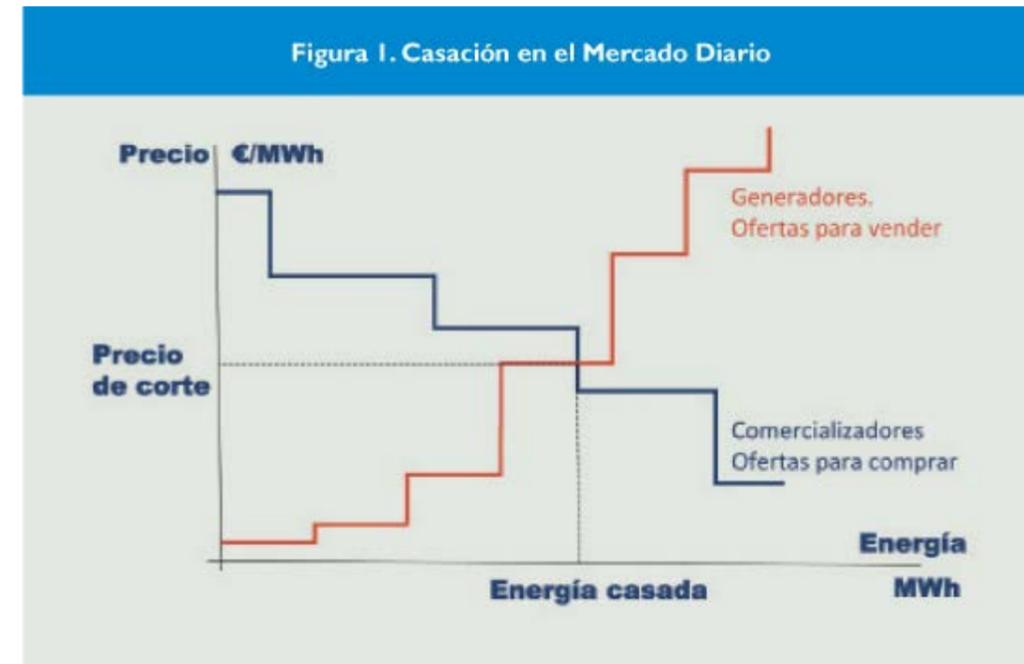
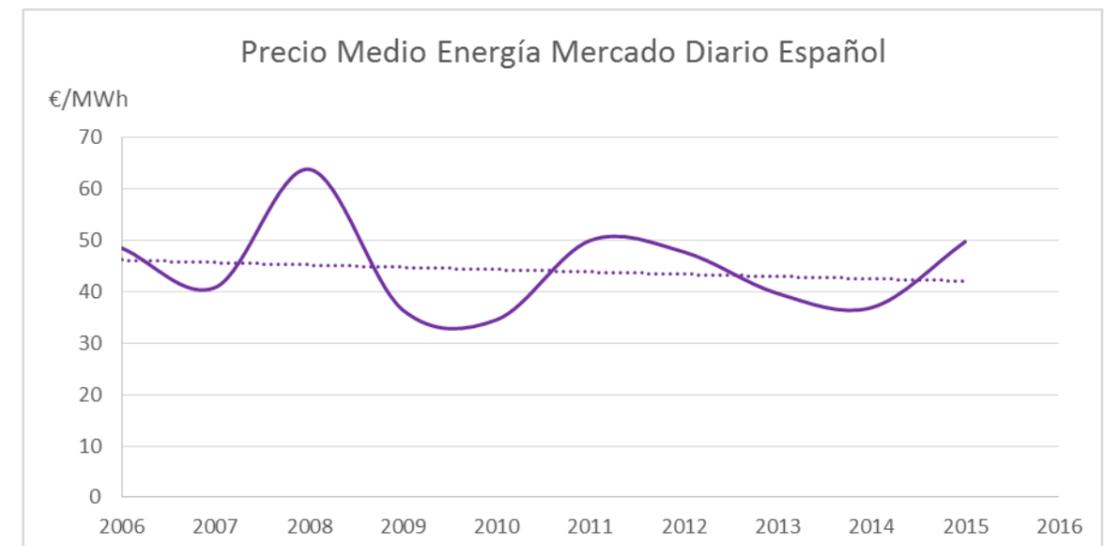


Ilustración 6. Casación en el Mercado Diario. Fuente Omie.

Accediendo a la base de datos de los precios de venta desde 2006 – 2015 se puede generar una gráfica como la siguiente, a la que se ha ajustado una función exponencial que siga las medias de precio de venta anualmente.



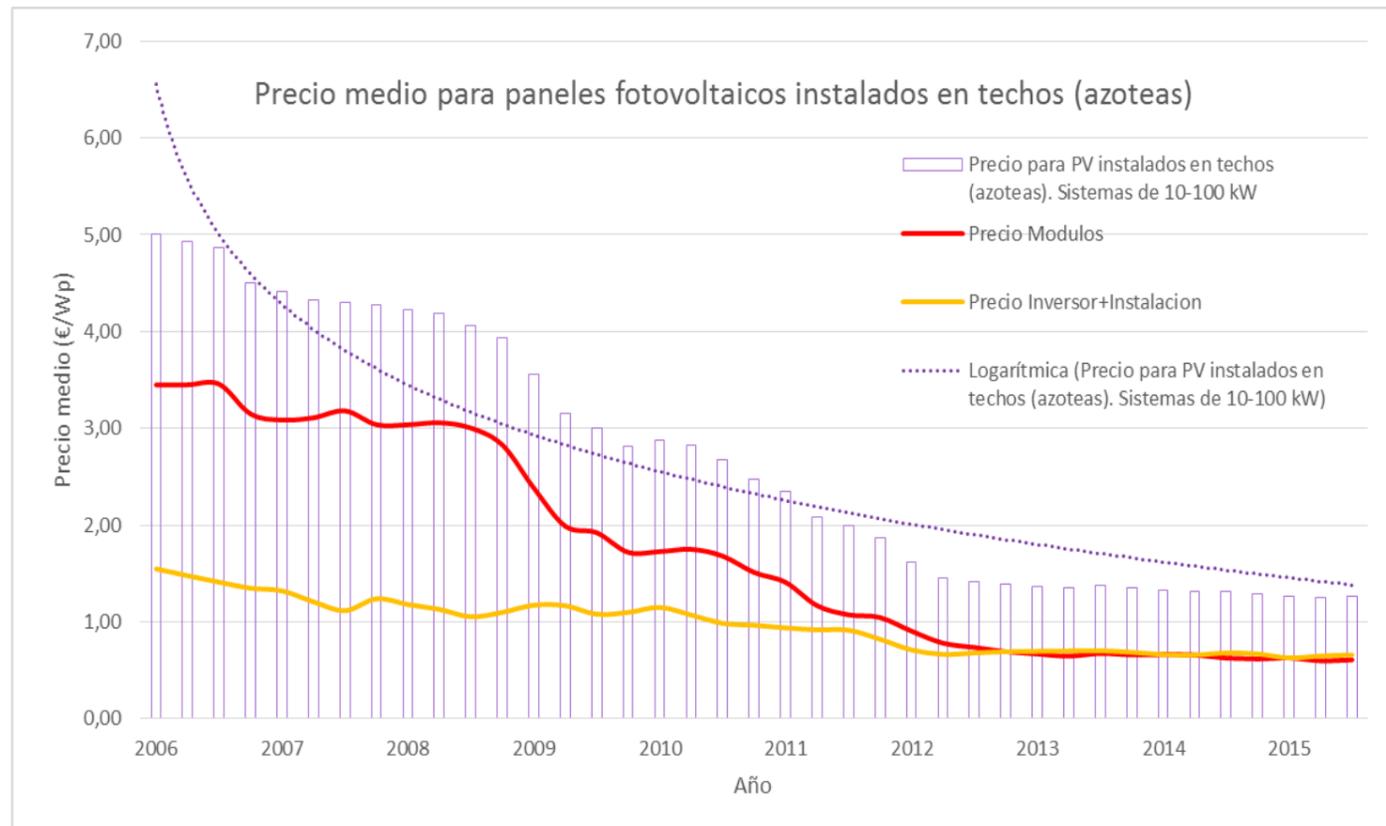
Gráfica 19. Variación precio de venta en el Mercado Diario Español (2006-2015).

Siguiendo la tendencia de las medias anuales, mediante esta fuente se obtiene un precio de venta de la energía de **41'21 €/MWh**.

Una vez expuesta toda la justificación de precios obtenidos, se ha decidido que la fuente *Omie* es muy fiable pues es el lugar donde se vende la energía por parte de las empresas, por lo que el precio de venta de energía sobrante que se va a considerar para todas las alternativas será: **41'21 €/MWh**

Coste instalación paneles solares. Es conveniente señalar antes de desarrollar este apartado que dado que se busca la máxima realidad, en este caso, primero se ha estimado un precio ajustando la tendencia seguida históricamente (como en los casos anteriores) y luego se ha calculado el coste de montaje de cada una de las alternativas realizando una búsqueda de precios de los distintos elementos que componen la instalación.

- **Estimación.** Para ello se ha accedido a un estudio correspondiente al "Instituto para los Sistemas de Energía Solar, Fraunhofer". En este estudio se tienen datos muy fiables de precios medios de instalación de paneles fotovoltaicos en Europa. A continuación se presenta una gráfica que se obtiene como resultado del tratamiento de los datos que se ofrecen en el estudio mencionado.



Gráfica 20. Precios medios de instalación de paneles fotovoltaicos (2006-2015).

Como se puede apreciar mediante la recta logarítmica ajustada al precio medio de instalación los precios tienden a la baja, alcanzándose valores máximos cuando los paneles solares eran una tecnología relativamente nueva llegando a la actualidad con valores rozando el euro por vatio de potencia instalada. Se puede observar que este precio se compone de dos factores: el precio del módulo solar y

el precio del inversor + instalación Siendo el primero el causante de esta disminución del precio instalación del sistema.

El precio de instalación de módulos solares estimado mediante este procedimiento es **1'22 €/Wp**.

- **Calculado.** Antes de iniciar a describir la metodología seguida, se van comentar unos aspectos importantes y necesarios que ayudarán a la comprensión de la misma. Puesto que en todos los casos se ha utilizado el mismo módulo, su precio será invariable en cada alternativa. El precio del inversor varía entre alternativas en una orquilla muy estrecha, por lo que el precio del inversor no va a ser un factor muy importante a la hora de variar el precio de instalación. Tanto el módulo y los anclajes van a ser los mismo en todas las alternativas por lo que su precio también lo será. El factor determinante en la variación del precio es la cantidad de módulos que tenga cada alternativa y el precio de su inversor asociado. Veamos el desarrollo de los precios.

- Precio Módulo: 275'88 €/módulo
- Precio Soporte: 130'33 €/4módulos → 32'58 €/módulo
- Precio Instalación: 20 €/h/soporte
3 h/soporte → 15 €/módulo
60 €/soporte
- Precio Inversor: Variable en función de la alternativa
Precio del equipo ≈ 3000€ (máx 3150€ // mín 2850€)

Alternativa 1:	9'09	€/módulo
Alternativa 2:	11'84	€/módulo
Alternativa 3:	11'84	€/módulo
Alternativa 4:	18'72	€/módulo

Una vez calculados todos los componentes del precio en función de precio por módulo, se puede calcular fácilmente el coste de instalación dividiendo la suma de los distintos elementos que componen el precio entre la cantidad total de Watios instalados que tiene cada alternativa de instalación fotovoltaica.

- Alternativa 1: **1'25 €/Wp** Error 2'78%
- Alternativa 2: **1'27 €/Wp** Error 3'58%
- Alternativa 3: **1'27 €/Wp** Error 3'58%
- Alternativa 4: **1'29 €/Wp** Error 5'52%



A la luz de los resultados se puede apreciar, que cuanto menor cantidad de módulos tenga la instalación, ésta aumenta su precio por watio instalado, esto puede ser debido a que el número de módulos varía mucho el precio del inversor, que es el principal causante de la variación del precio entre alternativas.

Por otro lado, se puede observar que la estimación realizada era algo optimista, pues daba costes menores que los calculados con los precios de mercado actuales. Subrayando los errores obtenidos respecto el valor estimado, se puede estar muy satisfecho con el ajuste de la función logarítmica pues el máximo error es del 5% y es asumible puesto que se diferencian de 7 céntimos de euro.

v. Estudio económico.

A continuación, se va a desarrollar el punto más importante de este estudio, en el cual se pretende analizar distintas alternativas de diseño y comprobar su viabilidad. Dado que la nave industrial analizada, es de alto consumo, el uso de baterías, en principio será inapropiado pues se requieren grandes equipos para el almacenamiento de la energía, aun así, al final del estudio se realizará un pequeño análisis en el caso que se quisiese utilizar baterías. Finalmente se realizará un análisis de sensibilidad de las variables y se estudiarán los resultados obtenidos.

Las alternativas consideradas son las mismas que en el apartado de diseño, pero en este caso se incorpora un bloque más en función de si la energía sobrante se gestiona y se vende a la red o no. Así pues, las alternativas consideradas son:

- Paneles en 1/2 del techo.
- Paneles en 3/4 del techo.
- Paneles en 4/5 del techo.
- Paneles en todo el techo.
- Paneles en 1/2 del techo S/vender.
- Paneles en 3/4 del techo S/vender.
- Paneles en todo el techo S/vender.

Se considera necesario destacar cuáles han sido las variables e índices que han resultado claves para la toma de decisión y evaluación de la alternativa más eficiente. En este caso los factores considerados han sido:

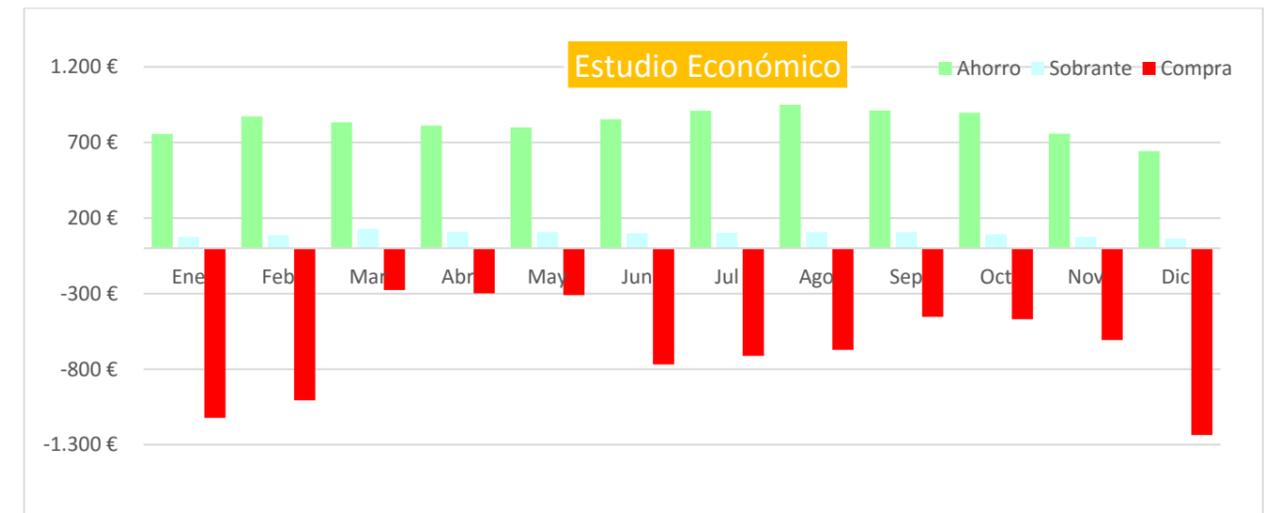
- Inversión.
- Gasto eléctrico + Mantenimiento (Se considera el Mantenimiento **1'5% inversión**).
- Ahorro Autoconsumo (Energía consumida directamente de las placas solares).
- Venta Energética.
- VAN (Valor Actual Neto)
- TIR (Tasa Interna de Retorno, tasa para que VAN = 0)
- Payback (Tiempo necesario para recuperar la inversión).
- GER (Gasto eléctrico residual, %energía que debe comprarse respecto la que se autoconsume).
- Cobertura del GER con la Venta Energética.

Una vez indicados todos los elementos razonados, es momento de presentar los resultados. Primero se mostrarán las tablas obtenidas en cada una de las alternativas, luego se presentará la tabla resumen y más importante y finalmente se realizará un análisis de sensibilidad con el que se decidirá qué alternativa es la más propicia.

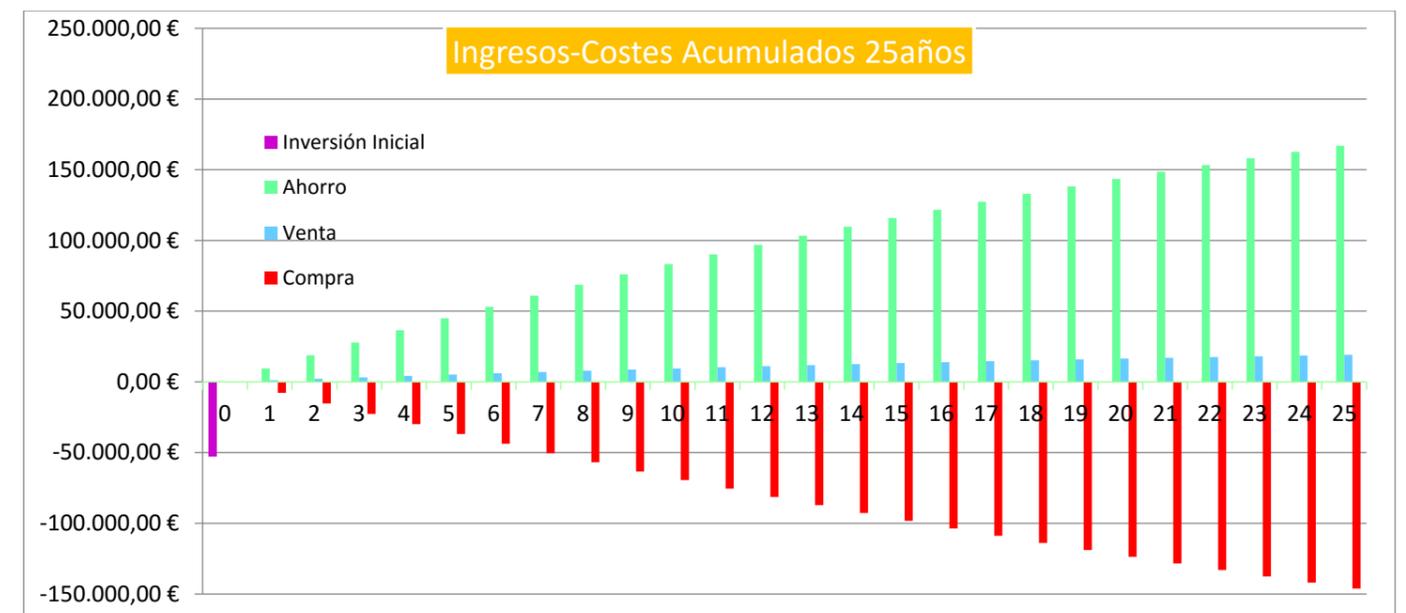
Para realizar el estudio económico se ha respetado la pérdida de productividad de módulo solar que se muestra en el "Anejo de Fichas Técnicas". Se ha considerado un año tipo (el actual) y se ha extendido hasta 25 años considerando dicha pérdida de productividad y que el valor del dinero cambia con el tiempo. Además todos los precios utilizados se muestran en el "Anejo de Precios".

Tablas y gráficos de las alternativas:

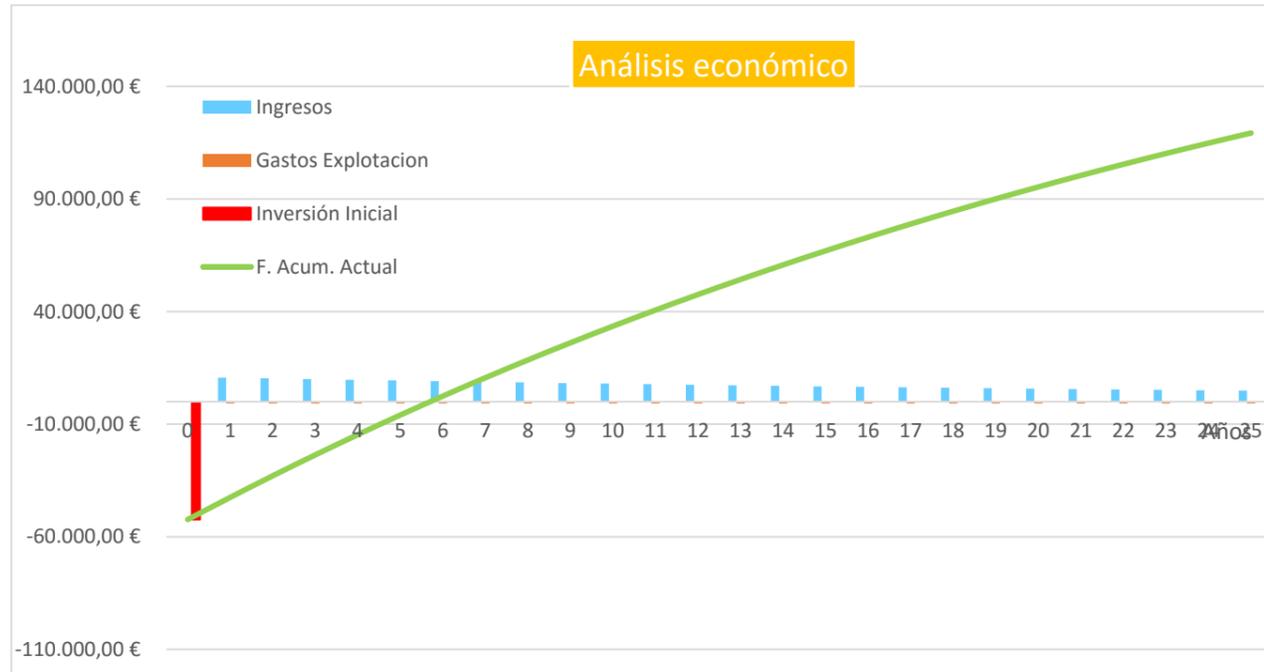
o Paneles en 1/2 del techo.



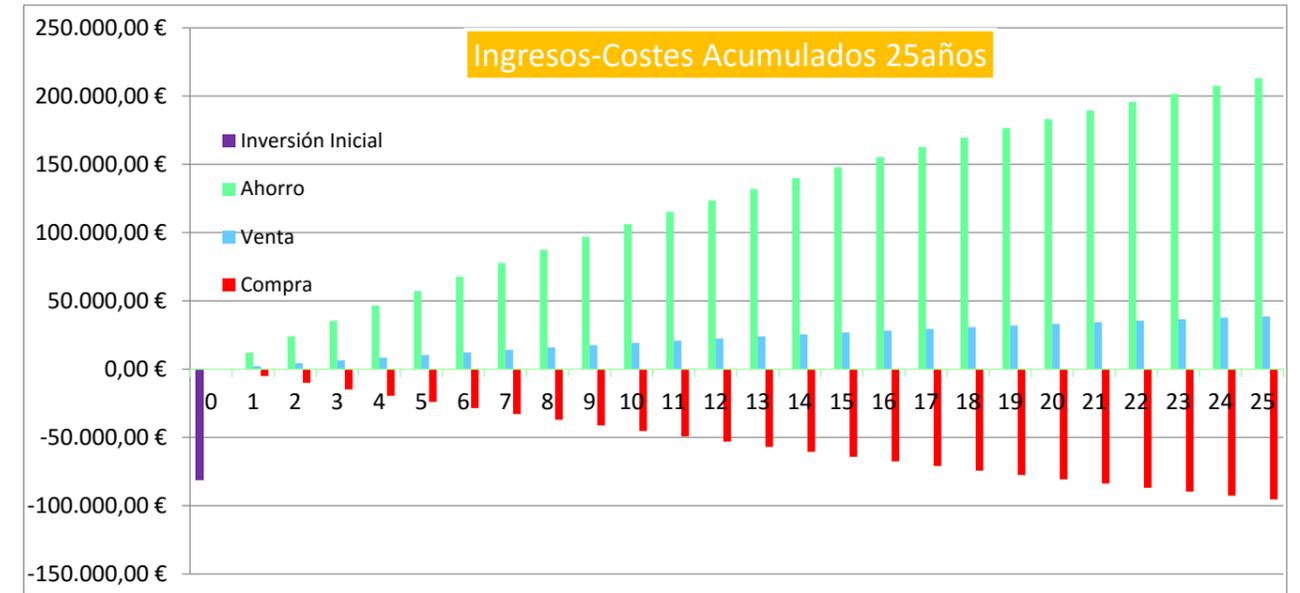
Gráfica 21. Ingresos-Costes de un año tipo. Alternativa Paneles en 1/2 del techo.



Gráfica 22. Estudio de costes actualizados acumulados durante 25 años. Alternativa Paneles en 1/2 del techo.

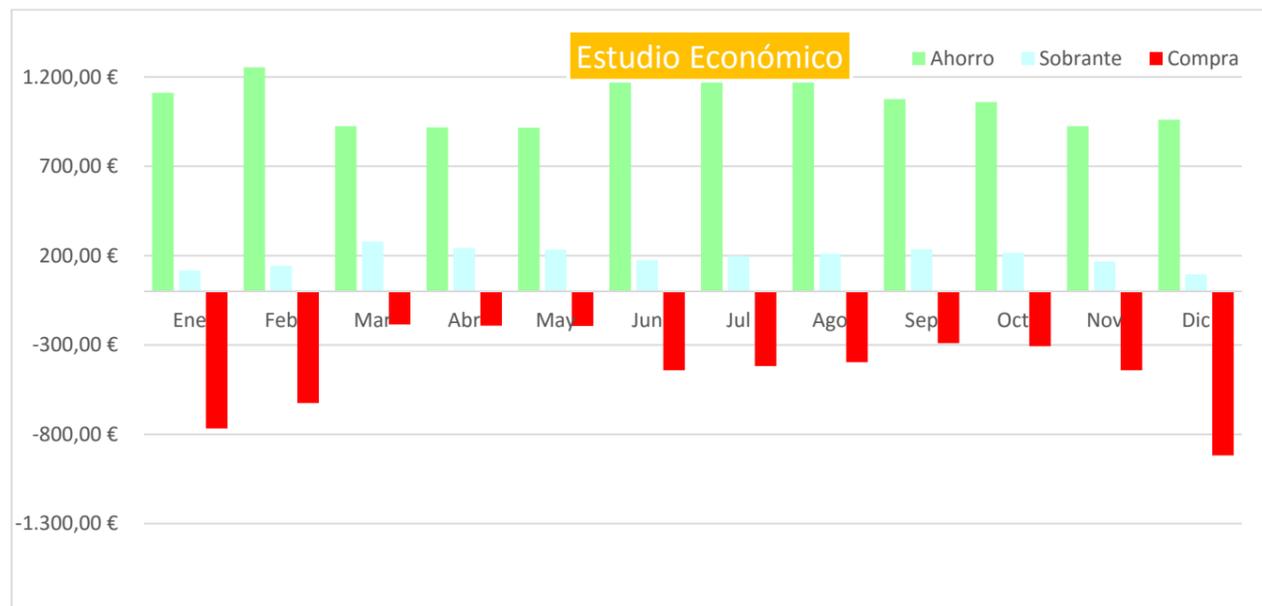


Gráfica 23. Payback Alternativa Paneles en 1/2 del techo.

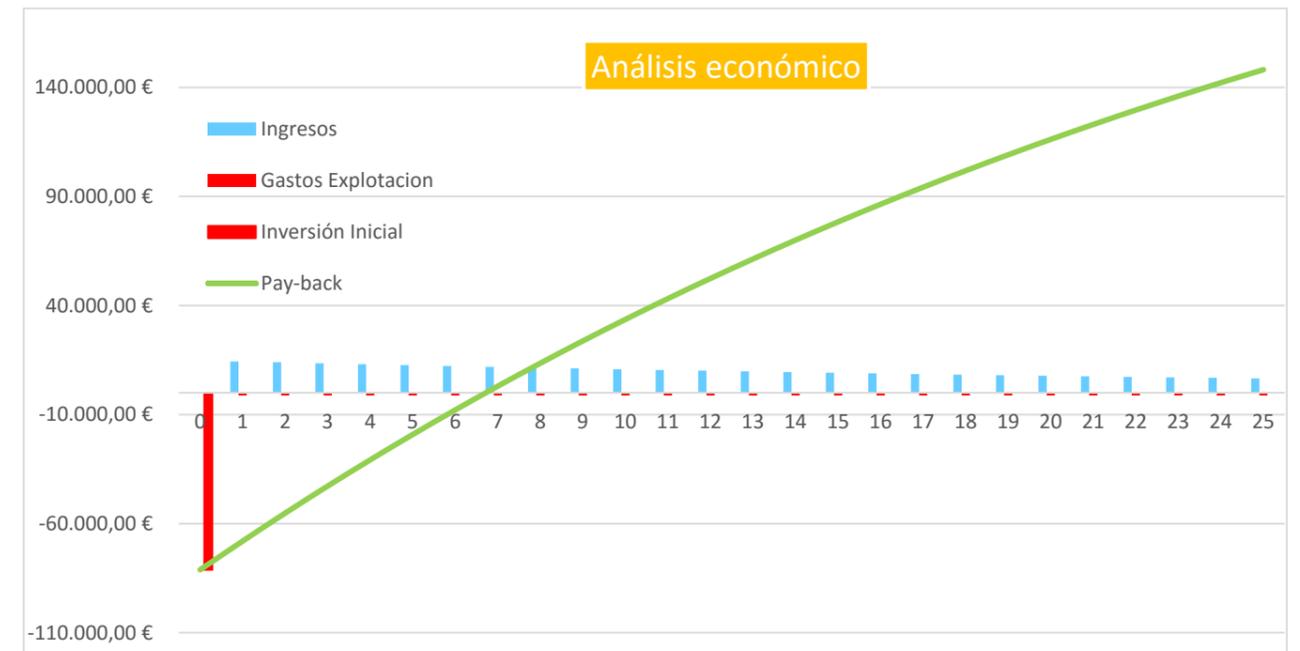


Gráfica 25. Estudio de costes actualizados acumulados durante 25 años. Alternativa Paneles en 3/4 del techo.

o Paneles en 3/4 del techo.

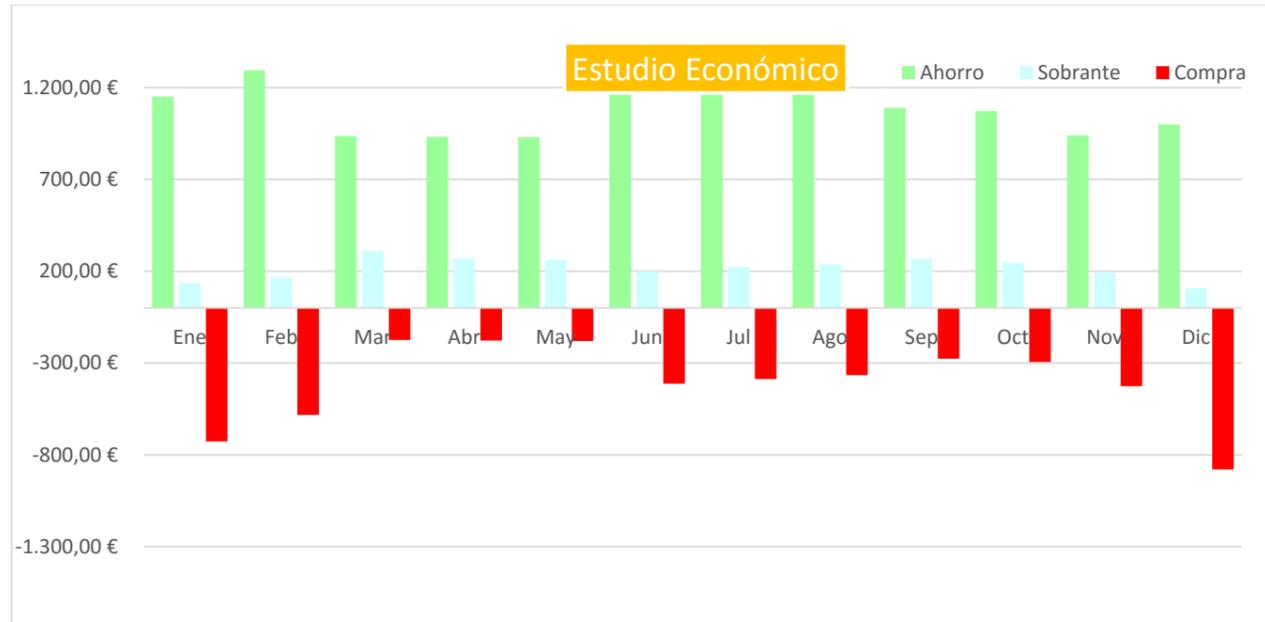


Gráfica 24. Ingresos-Costes de un año tipo. Alternativa Paneles en 3/4 del techo.



Gráfica 26. Payback Alternativa Paneles en 3/4 del techo.

○ Paneles en 4/5 del techo.

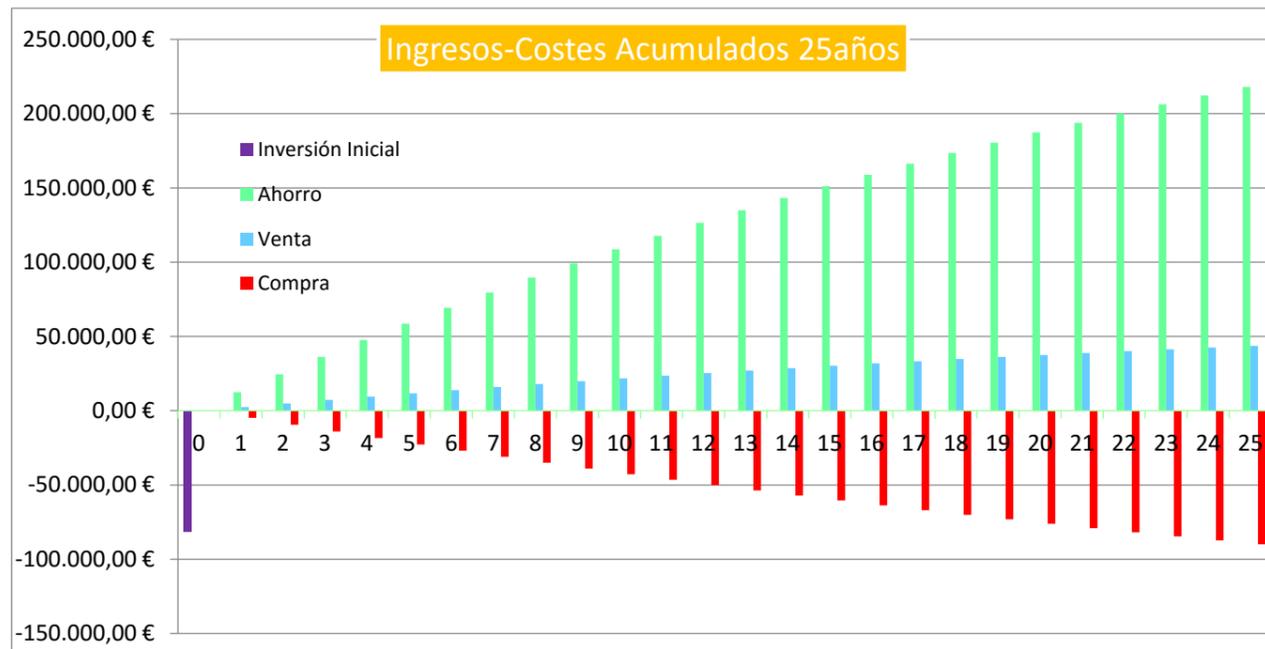


Gráfica 27. Ingresos-Costes de un año tipo. Alternativa Paneles en 4/5 del techo.

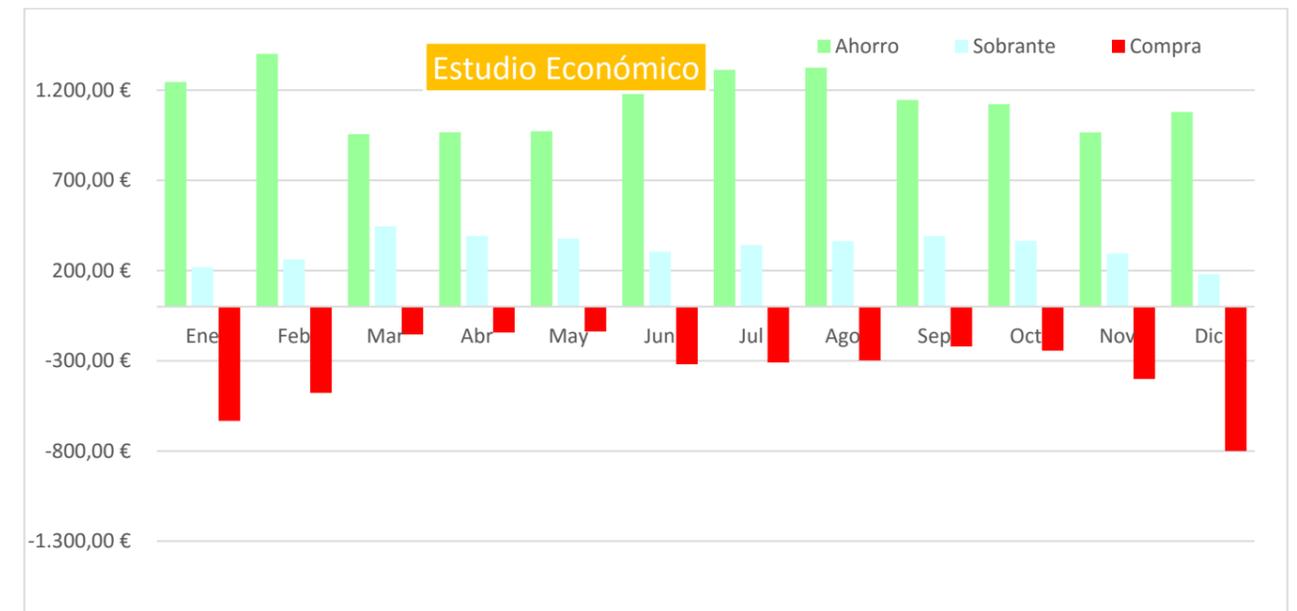


Gráfica 29. Payback Alternativa Paneles en 4/5 del techo.

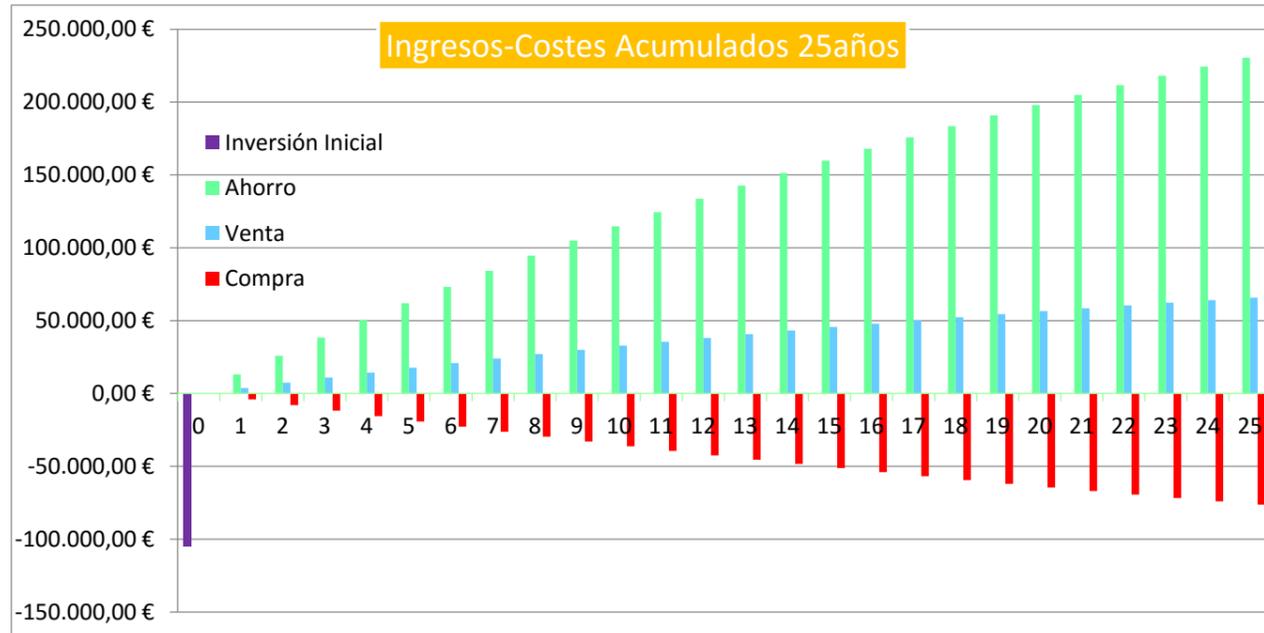
○ Paneles en todo el techo.



Gráfica 28. Estudio de costes actualizados acumulados durante 25 años. Alternativa Paneles en 4/5 del techo.



Gráfica 30. Ingresos-Costes de un año tipo. Alternativa Paneles en todo el techo.

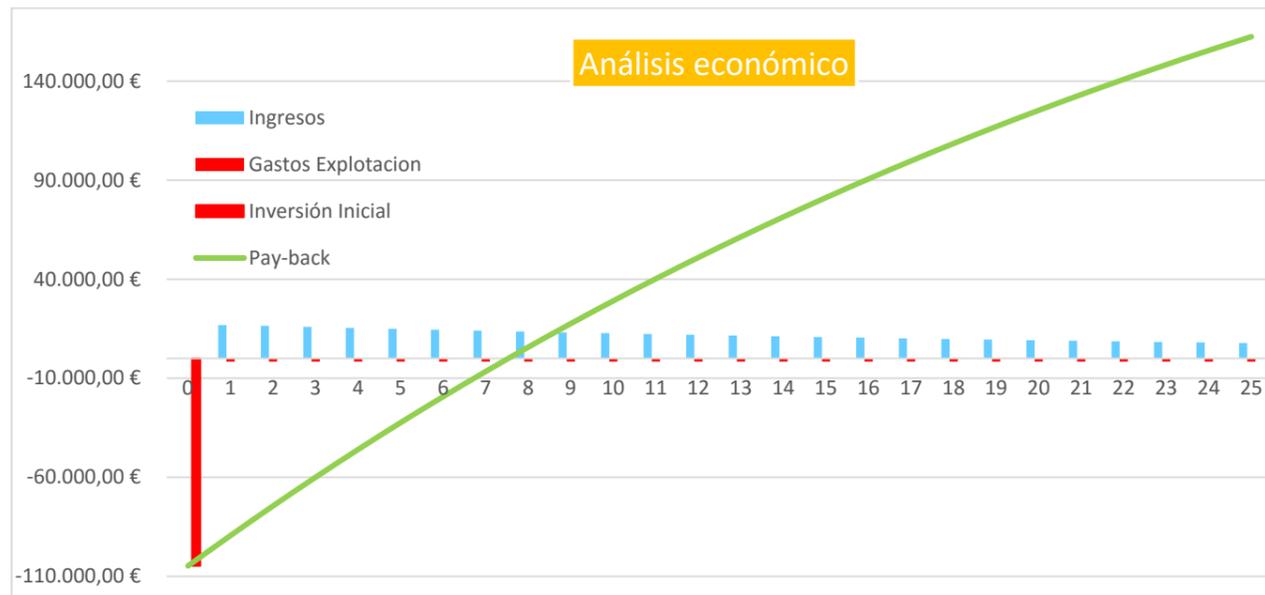


Gráfica 31. Estudio de costes actualizados acumulados durante 25 años. Alternativa Paneles en todo el techo.

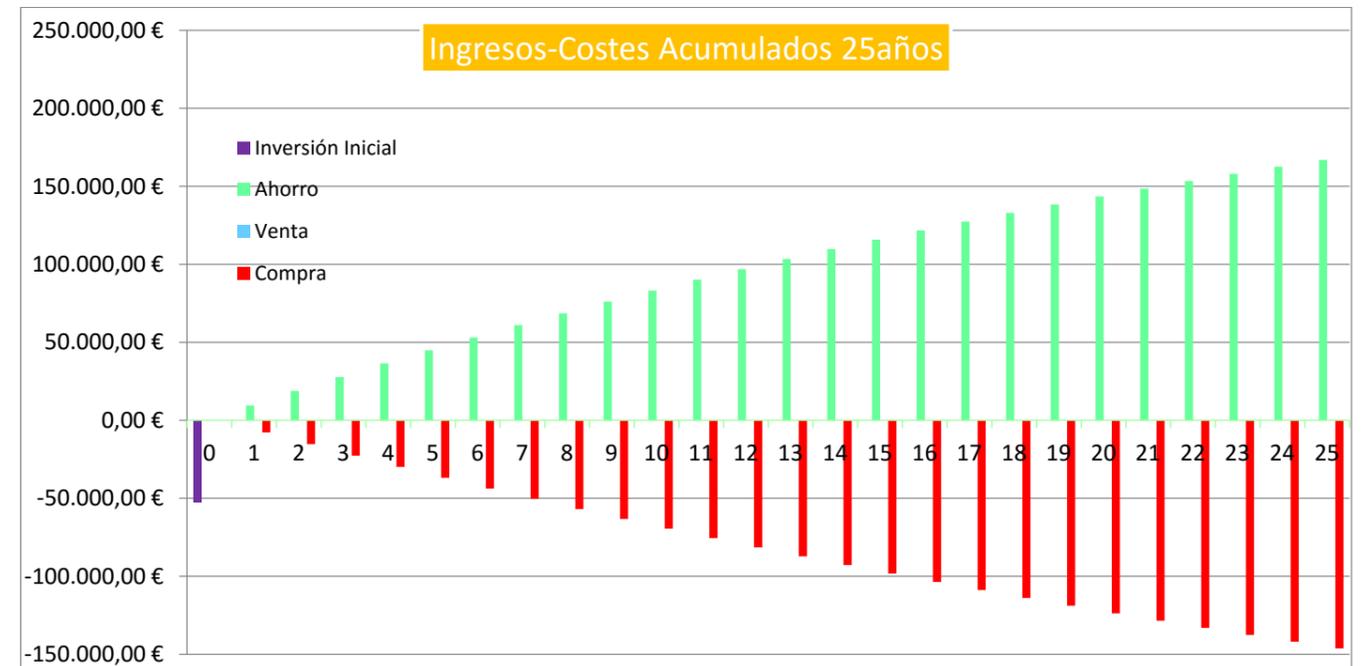
○ Paneles en 1/2 del techo S/vender.



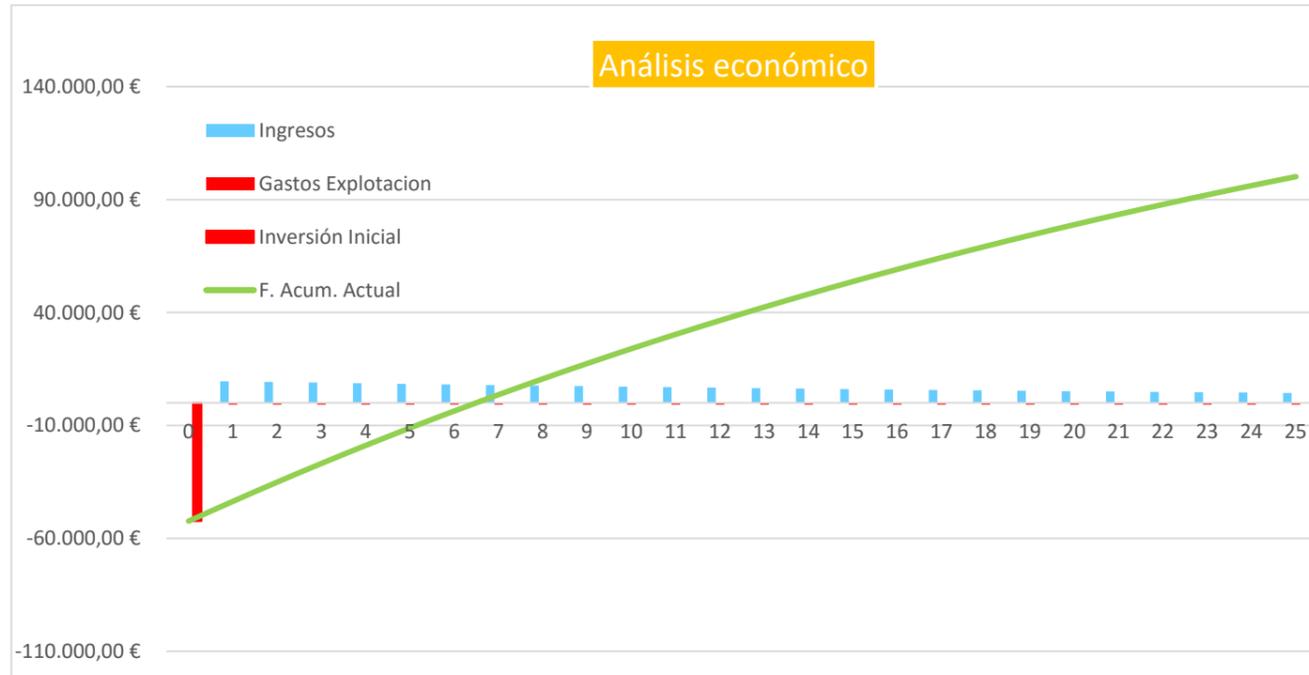
Gráfica 33. Ingresos-Costes de un año tipo. Alternativa Paneles en 1/2 del techo S/vender.



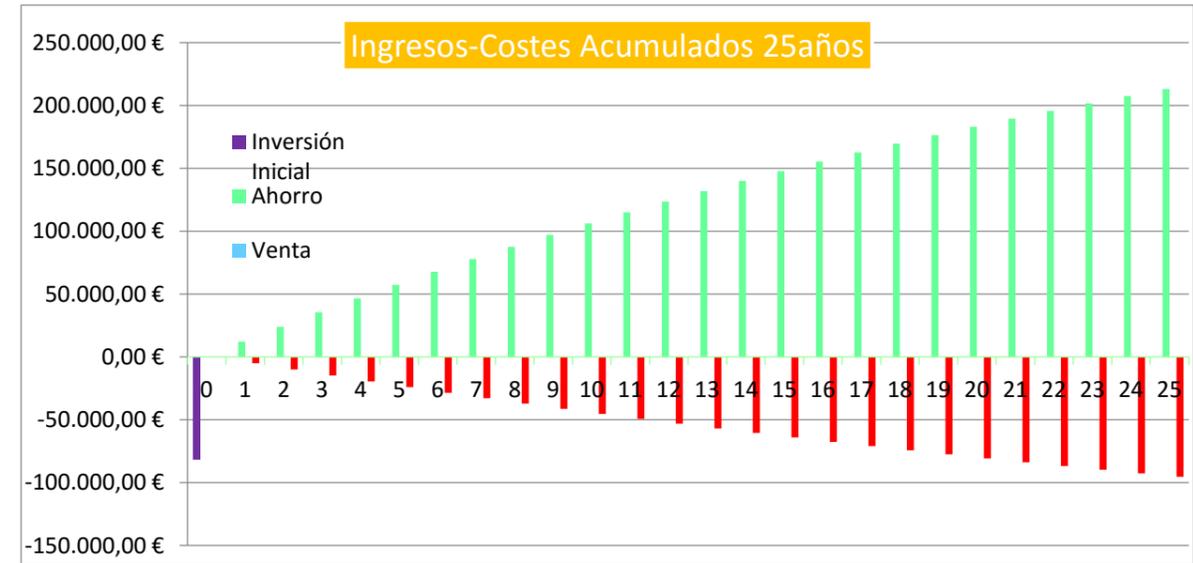
Gráfica 32. Payback Alternativa Paneles en todo el techo.



Gráfica 34. Estudio de costes actualizados acumulados durante 25 años. Alternativa Paneles en 1/2 del techo S/vender.

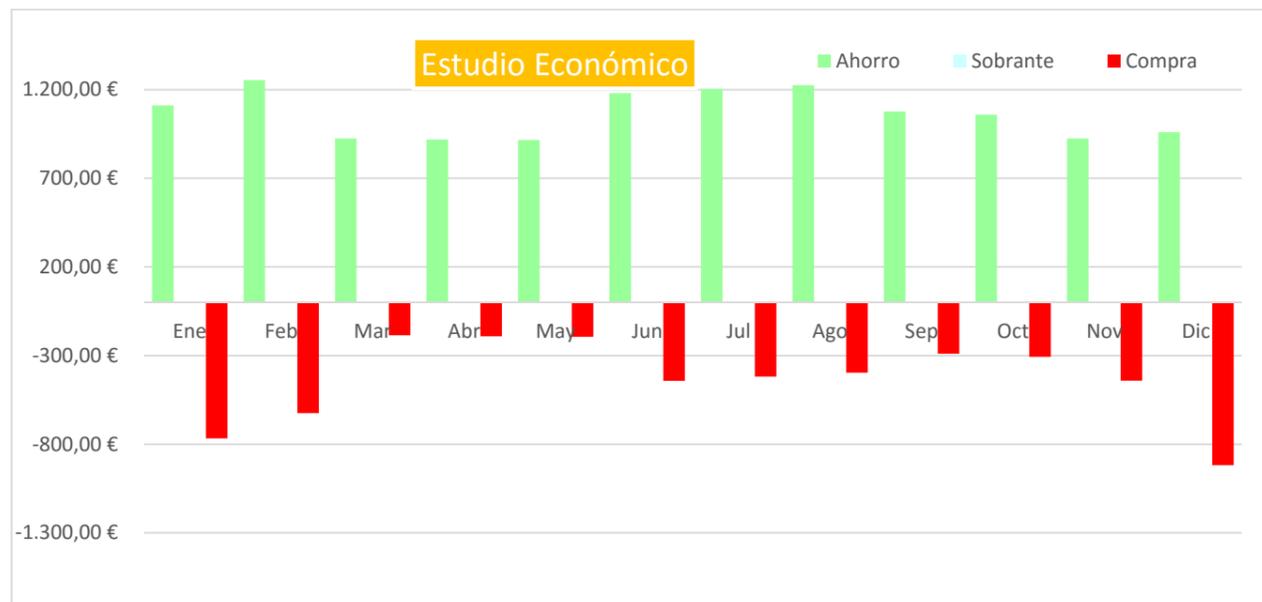


Gráfica 35. Payback Alternativa Paneles en 1/2 techo S/vender.

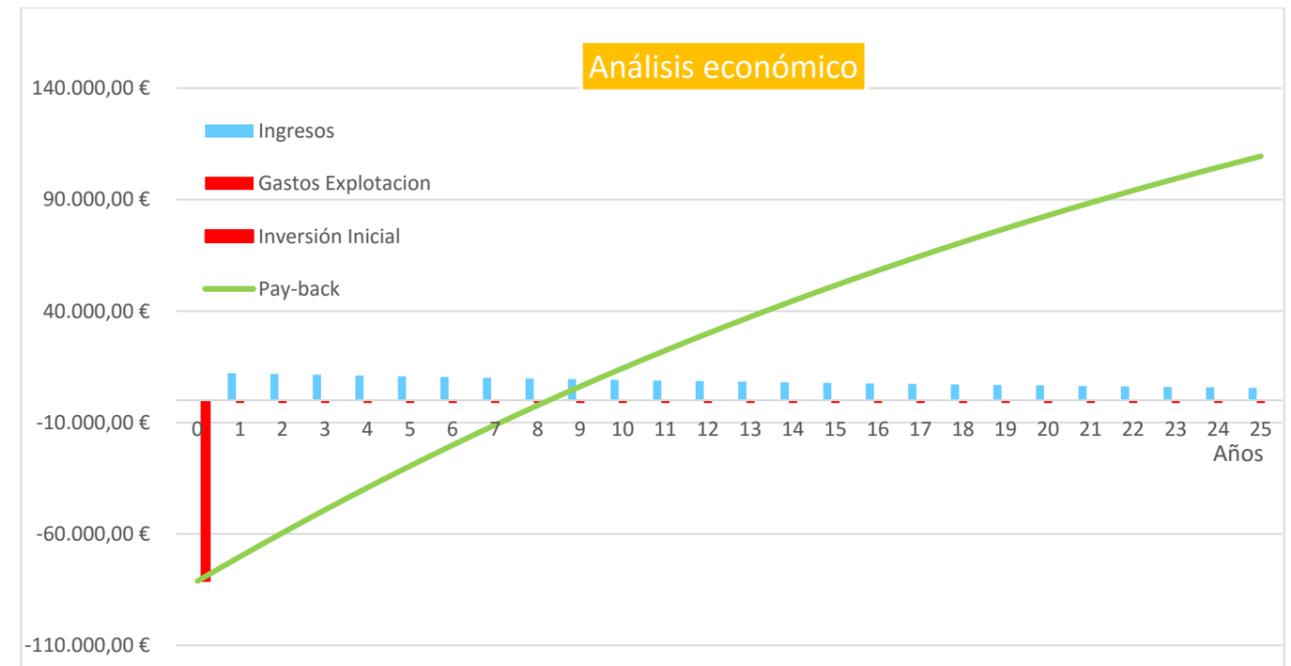


Gráfica 37. Estudio de costes actualizados acumulados durante 25 años. Alternativa Paneles en 3/4 del techo S/vender.

○ Paneles en 3/4 del techo S/vender.

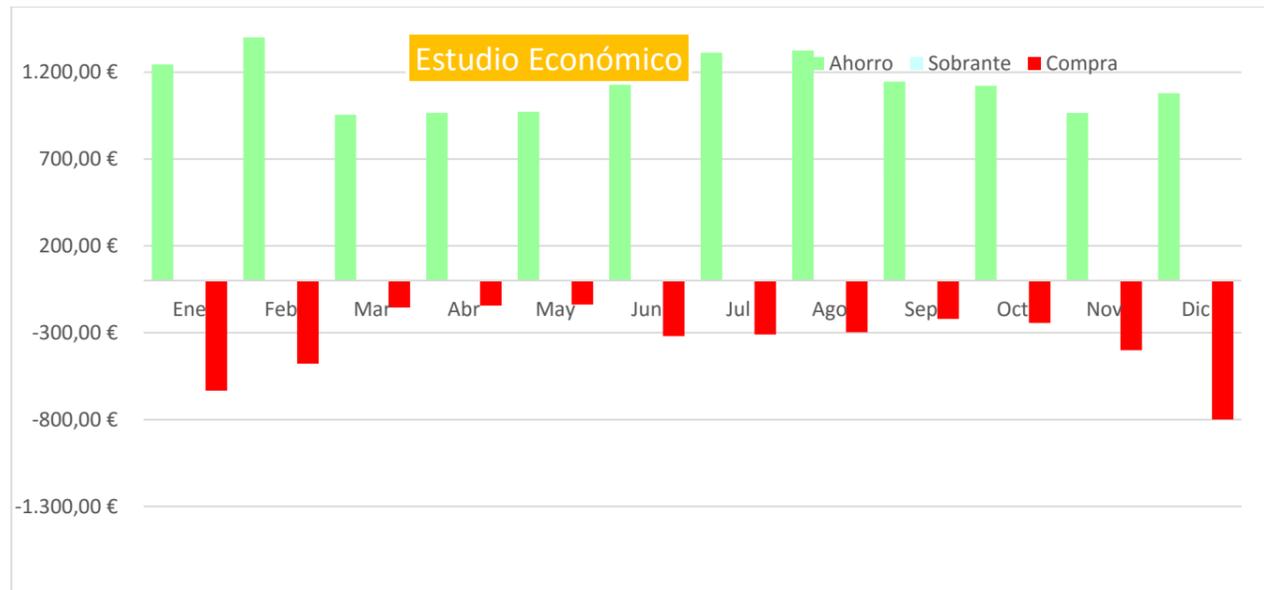


Gráfica 36. Ilustración 26. Ingresos-Costes de un año tipo. Alternativa Paneles en 3/4 del techo S/vender.

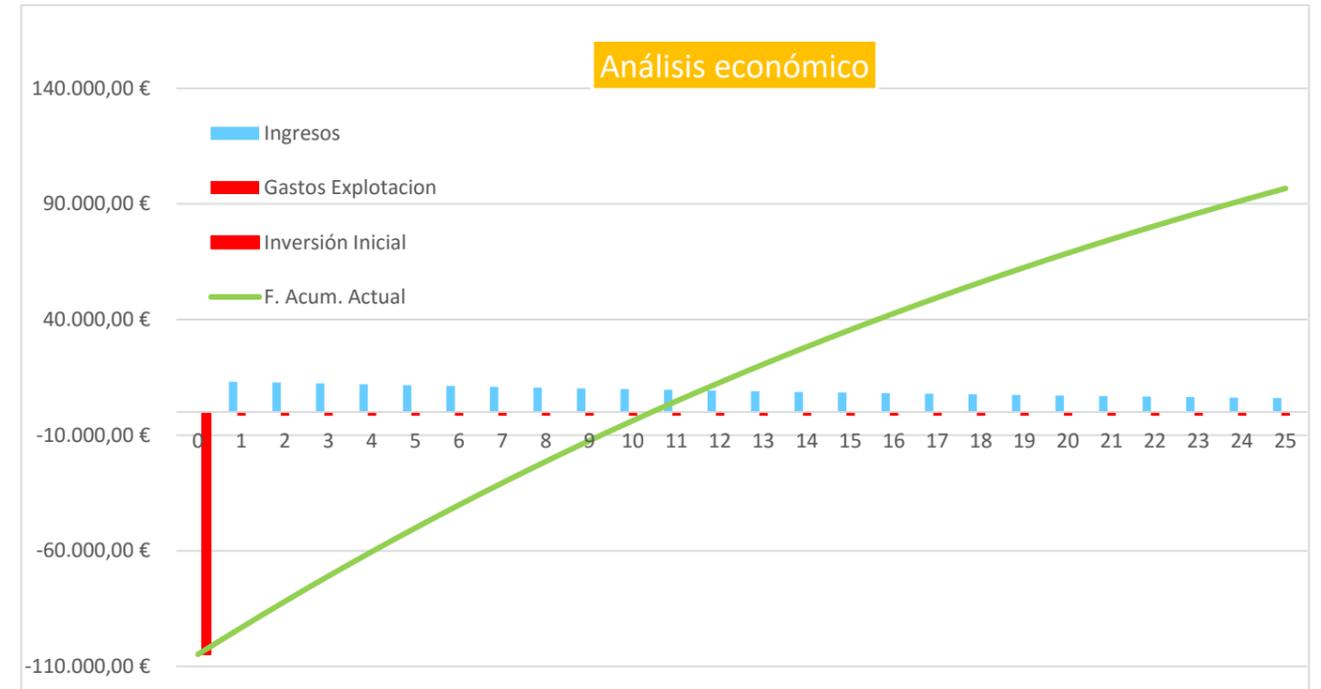


Gráfica 38. Payback Alternativa Paneles en 3/4 del techo S/vender.

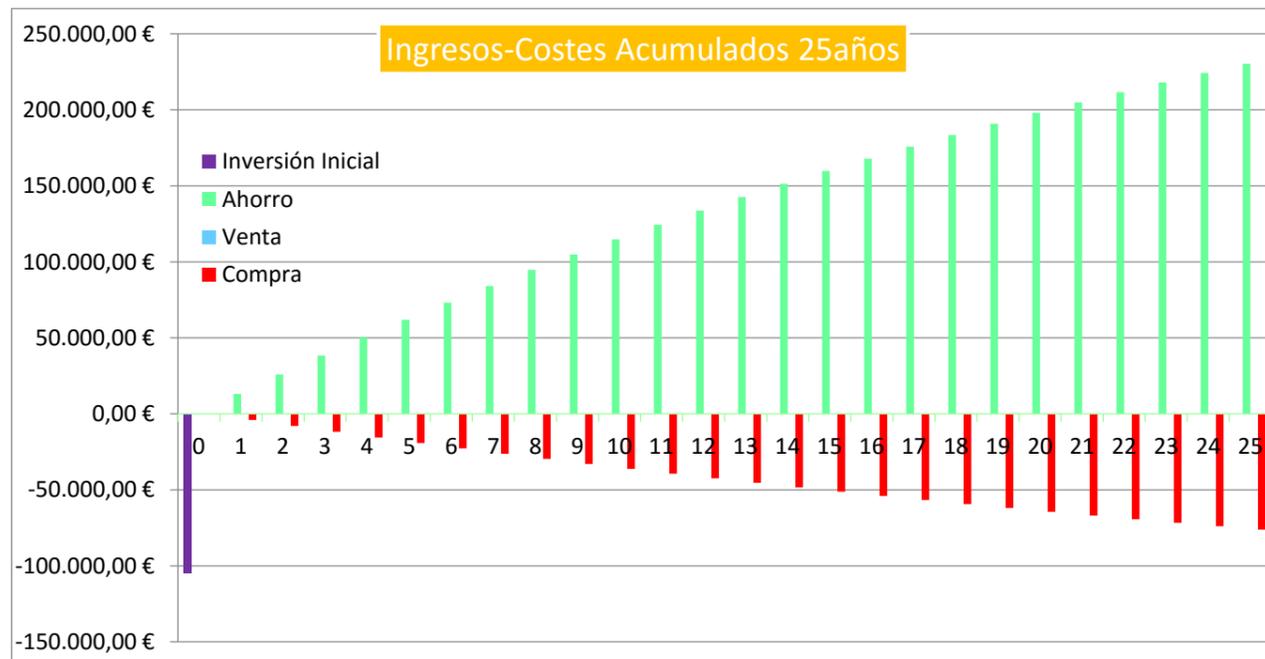
○ Paneles en todo el techo S/vender.



Gráfica 39. Ingresos-Costes de un año tipo. Alternativa Paneles en todo el techo S/vender.



Gráfica 41. Payback Alternativa Paneles en todo el techo S/vender.



Gráfica 40. Estudio de costes actualizados acumulados durante 25 años. Alternativa Paneles en todo el techo S/vender.

A la luz de las tablas presentadas, la primera conclusión y más obvia a la que se llega es que a mayor cantidad de paneles solares mayor energía se produce y menor necesidad de compra a la red.

Debido al tipo de demanda al que se pretende satisfacer se observa que generalmente en las gráficas de año tipo la demanda en los meses de primavera se satisface mucho mejor que en los meses de invierno. Esto es consecuencia, a parte del tipo, del clima y localización de la nave industrial.

La inversión aumenta a mayor cantidad de paneles solares, esto puede aumentar el *Payback*, es decir, el tiempo necesario para recuperar el gasto realizado para el proyecto, aunque no necesariamente si la cantidad de energía producida y vendida es suficientemente alta. Se observa que en las alternativas sin venta energética el *Payback* es sensiblemente mayor al obtenido si se vende energía, por lo que las alternativas sin venta energética quedan desechadas. Esta diferencia considerable significa que hay una cantidad de energía sobrante a tener en cuenta, sobre todo en la alternativa donde se llena el 100% del tejado de paneles pues se alcanza la máxima diferencia de *Payback*, 3 años.

Es necesario recordar que todos los ingresos-costes han sido actualizados conforme a la formulación del VAN; además de la pérdida de productividad de la instalación comentada anteriormente, estos dos factores provocan que las "barras" no sean constantes en todos los años en las gráficas del *Payback*, ni aumente de forma lineal en las gráficas de balances acumulados.

A continuación se presenta el resumen en forma de tabla de valores de todas las alternativas en función de los indicadores considerados:

	Inversión	Gasto eléctrico	Ahorro autoconsumo	Venta	VAN	TIR	Pay-back (años)	GER	Cobertura GER
Sin paneles fotovoltaicos	0,00 €	-330.362,91 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	-	-	∞ %	0,00%
Paneles 1/2 techo	-52.354,76 €	-146.193,82 €	166.960,48 €	19.144,96 €	119.281,61 €	18,34%	5,71	87,56%	13,10%
Paneles 1/2 techo S/vender	-52.354,76 €	-146.193,82 €	166.960,48 €	0,00 €	100.136,66 €	16,09%	6,50	87,56%	0,00%
Paneles 3/4 techo	-81.142,93 €	-95.358,90 €	213.045,42 €	38.643,70 €	148.121,08 €	15,54%	6,72	44,76%	40,52%
Paneles 3/4 techo S/vender	-81.142,93 €	-95.358,90 €	213.045,42 €	0,00 €	109.477,38 €	12,50%	8,27	44,76%	0,00%
Paneles 4/5 techo	-81.142,93 €	-89.952,92 €	217.946,27 €	43.689,13 €	158.067,36 €	16,31%	6,41	41,27%	48,57%
Paneles todo techo S/vender	-104.755,69 €	-76.219,48 €	230.396,41 €	0,00 €	96.689,85 €	9,65%	10,44	33,08%	0,00%
Paneles todo techo	-104.755,69 €	-76.219,48 €	230.396,41 €	65.769,63 €	162.459,48 €	13,80%	7,54	33,08%	86,26%

Tabla 3. Resumen económico de todas las alternativas consideradas.

En la primera fila de la tabla 1 se refleja el gasto, únicamente, económico que se tendría durante 25 años sin la instalación de paneles solares, valor muy a tener en cuenta. El motivo que el valor de "GER" en esta fila sea de infinito, es debido a que éste es un cociente entre el *gasto/ahorro energético* y puesto que el ahorro es nulo puesto que no hay paneles, matemáticamente da infinito. En las siguientes filas donde ya se presentan los valores de las distintas alternativas aparece dicho gasto eléctrico durante los 25 años siguientes, pero no se ha añadido el coste de **mantenimiento** de la instalación que se ha supuesto como **1'5% el coste de inversión**, esto se debe a que se ha querido mostrar datos energéticos exclusivamente.

Se puede observar que el TIR y el VAN son desfavorables en las alternativas sin venta energética, por razones obvias, pues se están perdiendo ingresos al no vender ni realizar ninguna acción con la energía sobrante. Es por ello que las alternativas sin venta energética quedan desechadas. El VAN se observa que va aumentando a mayor superficie instalada, en cambio, el TIR alcanza su máximo en la alternativa a medio techo, pero debido a que su producción es insuficiente y cubre muy poca demanda pues tiene un GER muy elevado, se observa que entre las alternativas con mayor superficie ocupada se alcanza el óptimo en la alternativa 4/5 de techo, es decir, según el TIR, ésta es la más eficiente de entre las alternativas con venta energética.

Como se comentaba anteriormente de forma gráfica, ahora se observa numéricamente el aumento del *Payback* en las alternativas sin venta. Como es normal a mayor inversión, mayor es el periodo de recuperación de la misma, pero no necesariamente una alternativa más cara tiene que recuperarse su inversión más tarde. Esto se comprueba con la alternativa de 4/5 de techo, que suponiendo una mayor inversión, su aprovechamiento de los elementos de la instalación es más óptimo y recupera la inversión más temprano que la alternativa 3/4 del techo, donde se ocupa menor superficie de techo.

Algo que llama la atención y más tarde se verá más claramente, es que el mejor valor para el TIR se consigue con una instalación de paneles en la mitad del techo, esto indica que a mayor cantidad de paneles el estudio económico no es más rentable, pues influyen más factores. El principal factores es el aprovechamiento de energía eléctrica con el inversor seleccionado, es principalmente por esto que la alternativa de paneles en 1/2 del techo tiene tan buen TIR, porque aprovecha al máximo las prestaciones de su inversor, pero esto se verá mejor reflejado en el análisis de sensibilidad.

El GER se ve realmente bien satisfecho, principalmente en las 3 últimas alternativas con valores que muestran que se ahorra más del doble de la energía que se compra, lo que indica una instalación productiva. Si se observa la última columna de la tabla donde se muestra lo que se podría cubrir de la compra de energía a la red vendiendo el exceso de energía y usándola para esta compra, se puede apreciar que el porcentaje de es muy bueno en alternativas que cubren el 75% y 80% del techo y excelente la última alternativa, donde se llega a valores cercanos al 90%. Este es uno de los motivos por los que generalmente el uso de baterías en estas instalaciones es inferior en beneficio de las placas solares, pues al tener una instalación tan grande la energía sobrante puede ser muy importante, pues su venta puede suponer la cobertura del gasto eléctrico en épocas en que hay un consumo excesivo o una producción menor. Más tarde se analizarán algunas alternativas instalando baterías y se realizará una comparación.

La inversión realizada en 3/4 y 4/5 de techo es la misma pues los paneles empleados y el inversor es el mismo, la diferencia entre ambas en el aprovechamiento que se consigue llenando el techo de paneles más o menos.

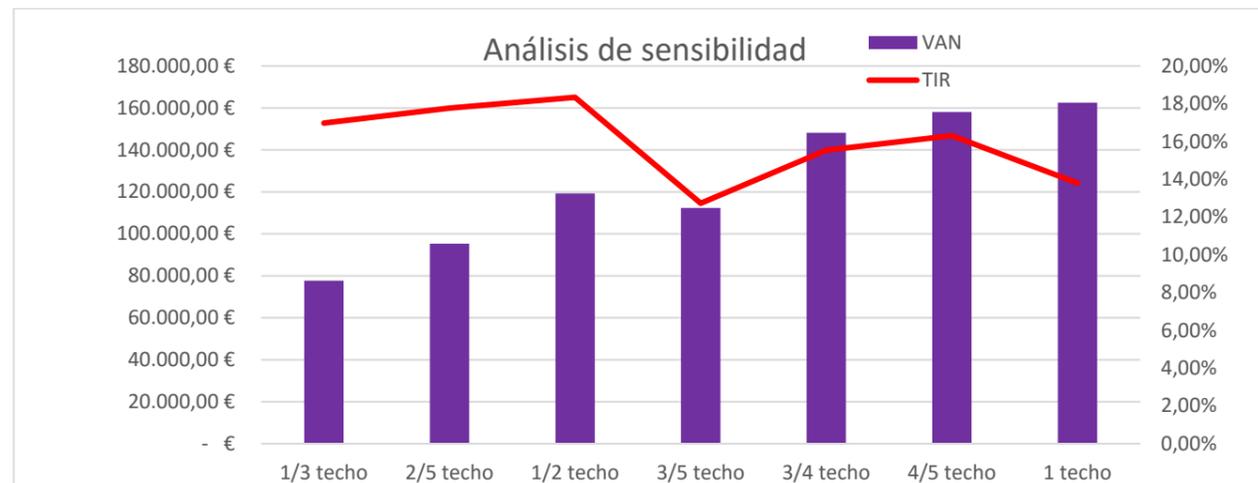
vi. Análisis de sensibilidad.

En este apartado se pretende mostrar los aspectos que más influyen en la variación del precio de la instalación y escoger la alternativa más óptima para el caso de estudio abordado.

Las alternativas consideradas en este caso son:

- Paneles en 1/3 del techo.
- Paneles en 2/5 del techo.
- Paneles en 1/2 del techo.
- Paneles en 3/5 del techo.
- Paneles en 3/4 del techo.
- Paneles en 4/5 del techo.
- Paneles en todo el techo.

Una vez realizados los diseños oportunos según las necesidades de cada instalación y tratado los datos se obtiene la siguiente gráfica resumen de indicadores económicos y tabla resumen:



Gráfica 42. Análisis de sensibilidad económico.

Mediante este análisis se puede apreciar que a mayor cantidad de paneles el rendimiento de la instalación no aumenta proporcional, siendo menor en algunos casos.

Realizando un análisis de los factores que intervienen, se ha concluido que el factor determinante es el grado de aprovechamiento del inversor instalado. Es decir, la potencia instalada *versus* la potencia que se puede generar con las condiciones solares; se puede apreciar que algunas alternativas no aprovechan al máximo la potencia que puede llegar a suministrar el inversor, por ello se encarece el precio de la instalación por watio de potencia instalado sin que la energía producida sea suficiente para compensar este encarecimiento. El caso más visual de esta falta de aprovechamiento de los equipos instalados se aprecia en la alternativa donde se llena el techo 3/5 de su superficie, donde incluso el VAN es menor que una alternativa con menor superficie de techo ocupada.

La alternativas con menor superficie de ocupación suelen tener un *TIR* elevado esto es debido a que la gama de inversores de menor potencia es mucho mayor que si aumentamos el volumen de paneles de la instalación por ello se exprime mejor la potencia que se puede generar con los equipos seleccionados con menor número de paneles, puesto que a mayor número de paneles hay que encontrar un equilibrio con la potencia del inversor, pues como ocurre con la alternativa de paneles en todo el techo, aunque tiene el mayor *VAN*, su *TIR* indica que la alternativa 4/5 del techo tiene un mayor rendimiento y el principal motivo es el expuesto y que se muestra ahora en números:

- Paneles en todo el techo: P. instalada: 83.475 kW
P. generada: 79.23 kW
Desperdicio: 5%
- Paneles en 4/5 del techo: P. instalada: 64.13 kW
P. generada: 63.38 kW
Desperdicio: 1%
- Paneles en 1/2 del techo: P. instalada: 40.545 kW
P. generada: 39.61 kW
Desperdicio: 2%

A continuación se presentan los detalles de cada alternativa para realizar el análisis de sensibilidad:

Precio (€/W)	Inversor	Análisis sensibilidad	Inversión	Gasto eléctrico	Ahorro autoconsumo	Venta	VAN	TIR	Pay-back (años)	GER	Cobertura GER
1,32	Sirio K33	1/3 techo	- 37.798,95 €	- 204.746,54 €	113.878,88 €	12.080,62 €	77.714,21 €	16,98%	6,16	179,79%	5,90%
1,31	Sirio K33	2/5 techo	- 43.621,28 €	- 179.838,45 €	136.459,57 €	14.548,52 €	95.331,40 €	17,77%	5,89	131,79%	8,09%
1,29	Sirio K40	1/2 techo	- 52.354,76 €	- 146.193,82 €	166.960,48 €	19.144,96 €	119.281,61 €	18,34%	5,71	87,56%	13,10%
1,28	Sirio K64	3/5 techo	- 81.142,93 €	- 120.516,56 €	190.238,48 €	25.658,65 €	112.329,08 €	12,73%	8,13	63,35%	21,29%
1,27	Sirio K64	3/4 techo	- 81.142,93 €	- 95.358,90 €	213.045,42 €	38.643,70 €	148.121,08 €	15,54%	6,72	44,76%	40,52%
1,27	Sirio K64	4/5 techo	- 81.142,93 €	- 89.952,92 €	217.946,27 €	43.689,13 €	158.067,36 €	16,31%	6,41	41,27%	48,57%
1,25	Sirio K80	1 techo	- 104.755,69 €	- 76.219,55 €	230.396,41 €	65.769,63 €	162.459,48 €	13,80%	7,54	33,08%	86,29%

Tabla 4. Resumen numérico análisis de sensibilidad.



Algo que llama la atención en la tabla es que las alternativas con menor producción, es decir, aquellas en las que la superficie de cubierta ocupada es menor resultan tener TIR y Pay-back más altos, respecto a aquellas alternativas que ocupan más del 50% de la superficie del tejado. Esto es debido a que la energía solar en este tipo de instalaciones es muy rentable, por lo que si se disminuye la inversión el periodo de recuperación de la misma es menor y el TIR aumenta. El problema de estas alternativas es el gasto energético residual, pues en 1/3 y 2/3 éste se dispara y el GER en 1/2 es muy elevado. Además la cobertura del GER con estas alternativas es prácticamente nula llegando al 10% la más alta (1/2 de techo).

Por el contrario, la alternativas con mayor inversión, cierto es que su TIR es algo menor y la inversión tarda algo más en recuperarse, pero es necesario destacar que cubren las necesidades de energía eléctrica de forma muy satisfactoria. En el caso de llenar el techo de paneles solares, se tendría, tan sólo, un 33% de gasto energético residual, es decir, de necesidades de compra; y mediante la venta, de la energía producida en exceso, a la red se podría cubrir hasta casi un 90% del GER. Estos valores, sí que son propios de una industria que pretende autoabastecerse y tener el máximo de independencia de la red. Las alternativas de menor uso se descartan debido a su exceso de gasto energético residual y su poca cobertura del mismo.

Una vez descartadas algunas alternativas, es momento de escoger aquella más eficiente de entre la que tienen una producción mayor. Como ya se comentaba anteriormente la alternativa 4/5 de techo tiene un mayor TIR y menor *Pay-back* que las otras alternativas por lo que parece que ésta es la más eficiente desde el punto de vista económico.

Una vez mostrados todos los cálculos e indicadores con los que tomar la decisión, se aprecia que la alternativa "**Paneles en 4/5 del techo**" es la alternativa con un rendimiento más óptimo de todos los casos estudiados, pues su porcentaje de energía derrochada es el menor, se aprovecha al máximo el inversor seleccionado; además sus otros indicadores muestran valores elevados, por lo que se trata de una alternativa con unos valores muy elevados de rendimiento en la que se presenta el menor porcentaje de derroche energético, por lo que de este estudio económico se concluye que la mejor opción para la instalación de paneles solares es ocupar 4/5 de la superficie disponible con los módulos solares e inversor correspondiente a esta alternativa inclinando los paneles 45° respecto la horizontal.

A continuación, y para finalizar este apartado, se presenta el último subapartado donde se analiza, de forma no tan detallada como el estudio de la industria conectada a la red, la posibilidad de instalar grupos de baterías en la nave.

vii. Alternativa seleccionada.

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, la alternativa seleccionada es:

- **Instalación conectada a la red con paneles en 4/5 del techo y venta de energía sobrante.**

Su resumen técnico es el siguiente:

Potencia generada	63.38 kW
Inversor Seleccionado	Sirio K64
Intervalo Potencia	64 – 71 kW
Módulos en Serie	11
Módulos en Paralelo	22
Total Módulos	242
Potencia Instalada	64.13 kW

Su resumen económico es:

Inversión:	- 81.142,93 €
Gasto eléctrico:	- 89.952,92 €
Ahorro autoconsumo:	217.946,27 €
Venta:	43.689,13 €
VAN:	158.067,36 €
TIR:	16,31%
Pay-back:	6,41
GER:	41,27%
Cobertura GER:	48,57%

El módulo solar fotovoltaico empleado (265W) tiene las siguientes características:

STP265 - 20/Wem
STP260 - 20/Wem
STP255 - 20/Wem

(Vista posterior)
(Vista frontal)

Características eléctricas

STC	STP265-20/Wem	STP260-20/Wem	STP255-20/Wem
Máxima potencia STC (Pmax)	265 W	260 W	255 W
Tensión óptima de operación (Vmp)	31,0 V	30,9 V	30,8 V
Corriente óptima de operación (Imp)	8,56 A	8,42 A	8,28 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	37,8 V	37,7 V	37,6 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,02 A	8,89 A	8,76 A
Eficiencia del módulo	16,3%	16,0%	15,7%
Temperatura de operación	-40 °C a +85 °C		
Tensión máxima de sistema	1000 V DC (IEC)		
Corriente máxima de fusible en serie	20 A		
Tolerancia de potencia	0/+5 W		

STC: Irradiancia 1.000 W/m², temperatura del módulo 25 °C, AM=1,5; Simulador solar AAA mejor de su clase (IEC 60904-9) utilizado; tolerancia de medición de potencia: +/- 2%

NOCT	STP265-20/Wem	STP260-20/Wem	STP255-20/Wem
Máxima potencia NOCT (Pmax)	194 W	191 W	188 W
Tensión óptima de operación (Vmp)	28,3 V	28,2 V	28,1 V
Corriente óptima de operación (Imp)	6,86 A	6,76 A	6,68 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	34,8 V	34,8 V	34,7 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	7,32 A	7,19 A	7,12 A

NOCT: Irradiancia 800 W/m², temperatura ambiental 20 °C, AM=1,5, velocidad del viento 1 m/s; Simulador solar AAA mejor de su clase (IEC 60904-9) utilizado; tolerancia de medición de potencia: +/- 2%

Características de temperatura

Temperatura Nominal de Operación de Célula (NOCT)	45±2°C
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0,42 %/°C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0,33 %/°C
Coefficiente de temperatura de Isc	0,067 %/°C

Características mecánicas

Célula solar	Silicio policristalino 156 × 156 mm (6 pulgadas)
Número de células	60 (6 × 10)
Dimensiones	1640 × 992 × 35 mm (64,6 × 39,1 × 1,4 pulgadas)
Peso	18,2 kgs (40,1 lbs.)
Vidrio frontal	Vidrio templado de 3,2 mm (0,13 pulgadas)
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexiones	Clase IP68 (3 diodos de derivación)
Cables de salida	TUV (2Pfg 1169:2007) 4,0 mm² (0,006 pulgadas²), longitudes simétricas (-) 1000 mm (39,4 pulgadas) y (+) 1000 mm (39,4 pulgadas)
Conectores	Conectores MC4 originales

Configuración de embalaje

Contenedor	20' GP	40' HC
Unidades por palet	30	30
Palets por contenedor	6	28
Unidades por contenedor	180	840

La información sobre cómo instalar y operar este producto está disponible en las instrucciones de instalación. Todos los valores indicados en esta hoja de datos están sujetos a cambios sin previo aviso. Las especificaciones pueden variar ligeramente. Todos los especificaciones cumplen con la norma EN 50380. Las diferencias de color de los módulos relacionadas con las cifras, así como los descoloridos de los módulos que no afectan a su funcionamiento adecuado son posibles y no constituyen una desviación de la especificación.

Correo electrónico: sales@suntech-power.com www.suntech-power.com IEC-STP-Wem-NO1.03-Rev 2015

Imagen 11. Características técnicas módulo solar fotovoltaico empleado.

El inversor empleado es el siguiente:

64

02

Sirio K64 y K64 HV

INVERSORES CENTRALIZADOS

65

CRITERIOS PARA EL SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD
 Toda la gama es configurable de acuerdo a las siguientes normas:
 - CEI 0-21
 - CEI 0-16
 - VDE AR-N-4105
 - VDE 0126-1-1
 - G59/2
 - Real Decreto 1663-2000
 - PO12.3

MODELOS	Sirio K64	Sirio K64 HV
Potencia aconsejada del campo fotovoltaico	80 kWp max	55 kWp min
Potencia nominal corriente alterna	64 kW	
Potencia máxima corriente alterna	71 kW	
ENTRADA		
Tensión continua máxima en circuito abierto	800 Vcc	880 Vcc
Intervalo MPPT	330 ÷ 700 Vcc	450 ÷ 760 Vcc
Intervalo de ejercicio	330 ÷ 700 Vcc	450 ÷ 760 Vcc
Corriente de entrada máxima	205 Acc	157 Acc
Tensión de umbral para el suministro hacia la red	390 Vcc	540 Vcc
Tensión de Ripple	<1%	
Número de entradas	1	
Número de MPPT	1	
Conectores CC	Bus Bar	
SALIDA		
Tensión de ejercicio	400 Vca	
Intervalo operativo	340 ÷ 460 Vca ⁽¹⁾	
Intervalo para la máxima potencia	340 ÷ 460 Vca	
Intervalo de frecuencia	47,5 ÷ 51,5 Hz ⁽¹⁾	
Intervalo de frecuencia configurable	47 ÷ 53 Hz	
Corriente nominal	92 Aca	
Corriente máxima	117 Aca	
Corriente de cortocircuito	175 Aca	
Distorsión armónica (THDi)	<3%	
Factor de potencia	de 0,9 ind. a 0,9 cap. ⁽¹⁾	
Separación galvánica	Transformador BF	
Conectores CA	Bus Bar	
SISTEMA		
Rendimiento máximo	96,1%	96,1%
Rendimiento europeo	95%	94,9%
Consumo en stand-by	<32W	
Consumo de noche	<32W	
Protecciones internas	Magnetotérmico lado CA y seccionador en lado CC	
Protección funcionamiento en isla	Si	
Detección dispersión hacia tierra	Si	
Disipación de calor	ventilador controlado	
Temperatura de servicio	0°C÷45°C (sin reducción de potencia)	
Temperatura de almacenamiento	-20°C÷70°C	
Humedad	0÷95% sin condensación	

(1) Estos valores pueden variar de acuerdo con las regulaciones locales

OPCIONES DISPONIBLES
 - Kit para conectar el polo a tierra (positivo o negativo)
 - Protección contra sobretensiones SPD

CARACTERÍSTICAS
 Color: RAL 7035
 Dimensiones (AxPxL): 800x800x1900 mm
 Peso: 600 Kg
 Nivel de protección: IP20
 Nivel sonoro: <68dBA

COMUNICACIÓN
 Pantalla: LCD a color táctil
 Interfaz de comunicación: 2xRS232 de serie, RS485, ModBUS y Ethernet opcional (version ranura)
 Protocolos: ModBUS y ModBUS/TCP

CONFORMIDAD
 EMC: EN61000-6-3, EN61000-6-2, EN61000-3-11, EN61000-3-12
 Seguridad: EN62109-1, EN62109-2
 Directivas: Directiva de baja tensión: 2006/95/EC, EMC Directiva: 2004/108/EC
 Criterios para el suministro de electricidad: CEI 0-21, CEI 0-16, A70, VDE AR-N-4105, VDE 0126-1-1, G59/2, Real Decreto 1663-2000, PO12.3

www.aros-solar.com

www.aros-solar.com

www.aros-solar.com

Imagen 12. Ficha técnica inversor utilizado.

viii. Influencia de las baterías.

En este apartado el estudio va a basarse en realizar un exposición de resultados en el caso de que se decidiera realizar la instalación con baterías en lugar de conectada a la red y vendiendo la energía sobrante. Como ya se comentó en el apartado anterior, en principio, en este tipo de instalaciones de alto consumo, la opción de las baterías suele ser menos rentable, pues la capacidad de venta de grandes cantidades energéticas suele superar el ahorro que supone la instalación de las baterías, pues la inversión que suponen las baterías es muy elevada.

Para el presente análisis se ha escogido un **grupo de baterías OPzS de 245 Ah y 12V** cuyos detalles técnicos aparecen descritos de forma más detallada en el “Anejo Fichas Técnicas”, así como su precio queda reflejado en la base de datos mostrada en el “Anejo Precios”.



Imagen 13. Grupo de Baterías OPzS utilizado.

Las características técnicas de cada alternativa son las siguientes:

Alternativa	Requisitos energéticos		Requisitos de cantidad		Total grupos	Precio final
	C _T (Ah)	Voltaje Bat.	En paralelo	En serie		
1/2 techo	590'77	48	3	4	12	10.723'80 €
3/4 techo	1372'81	48	6	4	24	21.447'60 €
1 techo	1790'70	48	8	4	32	28.596'80 €

Tabla 5. Características energéticas de las alternativas con baterías.

El primer detalle que llama la atención de estos requisitos es que al aumentar el doble la cantidad de techo cubierto por paneles solares, los requisitos energéticos y el precio final no aumentan de la misma forma que lo hace el espacio ocupado, sino que éstos son mayores, es posible que el estudio económico sea algo más favorable.

A continuación se muestra el resumen económico de las alternativas con baterías:

Alternativa	Inversión	Gasto eléctrico	Ahorro Autoconsumo	GER	VAN	TIR	Payback (años)
1/2 techo	-63.078'56 €	-136.952'42 €	175.329'30 €	78'12 %	94.817'99 €	13'50 %	7'70
3/4 techo	-102.590'53 €	-56.156'93 €	248.584'39 €	22'59 %	117.641'36 €	11'17 %	9'17
1 techo	-133.352'49 €	-1.893'56 €	281.527'68 €	0'67 %	111.321'15	9'04 %	11'04

Tabla 6. Resumen económico de las alternativas con baterías.

Se puede apreciar en una primera observación que aumentar la superficie de paneles disminuye la eficiencia, algo que ya se intuía en la tabla anterior. La inversión aumenta mucho más de lo que el ahorro es capaz de compensar por ello el retorno de la inversión y el VAN son más desfavorables.

La disminución del GER, es decir del gasto eléctrico necesario, disminuye exponencialmente, es decir a mayor superficie de techo se ocupa mayor es la cantidad de energía sobrante y mayor cantidad de gasto eléctrico se cubre; en cambio, esto acaba siendo desfavorable, en líneas generales se observa que se derrocha mucha energía y es necesaria mucha energía sobrante para que el gasto eléctrico se reduzca de forma considerable; pero esto no se compensa pues la inversión necesaria aumenta de forma excesiva respecto el ahorro producido.

Una vez analizados los resultados se puede decir, que como ya se presuponía antes de presentar los resultados, el uso de baterías en instalaciones solares de alto consumo son menos eficientes que el diseño propuesto en este estudio, instalación conectada a la red y venta de energía sobrante.

VII. Normativa.

Tal y como se explica de forma más detallada y precisa en el “Anejo Normativa” la regulación de las energías renovables en España no empieza a desarrollarse hasta la década de los años 80. Desde ese momento las leyes publicadas tenían una tendencia clara al fomento de las energías renovables por dos motivos fundamentales hacer frente en un principio y a partir de los años 2000 fomentar las energías limpias a raíz del nuevo marco social encaminado hacia el desarrollo sostenible por encima del crecimiento económico.

En sus inicios la normativa Española ha tenido unas claras directrices de favorecer las energías renovables incentivando su uso e instalación para cubrir porcentajes indicados por la Unión Europea. En el año 2008 se consolida un Decreto que ya llevaba años gestándose por lo que el Estado da unas primas a aquellas industrias que instalen energías limpias para autoabastecerse y verter a la red su energía sobrante.

Pero debido principalmente a la crisis económica sufrida mundialmente y más devastadora en España, la normativa retira dichas primas por considerar que ese sistema eléctrico no es sostenible a largo plazo. De esta forma, la normativa española pasa de favorecer totalmente el uso de energías renovables a desamparar a aquellas empresas que decidan instalar este tipo de energías en sus industrias.

Actualmente, la situación de las energías renovables en el marco económico español es aún más pésimo, En la actualidad se ha aprobado un Real Decreto por el cual, a parte de no subvencionar estas energías, todas aquellas entidad privadas o personas privadas que decidan instalar energías limpias deberán pagar un canon o tarifa en función de la potencia instalada, para mantener la red y sistema que utilizan para vender su energía sobrante.

i. Influencia de las distintas leyes en el proyecto.

Para mostrar esta influencia de las distintas leyes aplicables al marco energético español se han escogido 3 reales decretos:

- Real Decreto 1578 /2008
- Real Decreto 1 /2012
- Real Decreto 900 /2015

El primero de ello se publica en un momento de promoción de energías renovables donde se potencia su uso mediante incentivos económicos; el segundo Decreto, que será el utilizado para el presente estudio, se anuncia durante la crisis económico mundial y en este marco socioeconómico se retiran dichas primas a las renovables, Finalmente el último Decreto se pública hace un año en el que se penaliza el uso de energías renovables mediante una tarifa que se debe pagar anualmente como consecuencia de uso de la red eléctrica española.

A continuación se muestra el resumen de las primas y tarifas en función de la ley empleada:

- RD 1578/2008 Retribución Anual: 59.010'16 € R. 25años: 1.475.254'09 €
- RD 1/2012 Retribución Anual: 0 € R, 25años: 0 €
- RD 900/2015 Peaje Impuesto Anual: 5.193'90 € P. 25años: 129.847 €

Se puede observar la gran diferencia de una normativa a otra, donde la diferencia al final de la vida útil de este tipo de proyectos es muy severa. Se pasa de ganar más de un millón de euros a tener un saldo negativo. Si este estudio se hubiese realizado con la normativa actual utilizando el VAN de la opción más eficiente en el año 25 se tendrían unas ganancias muy inferiores debido a los peajes que impone esta normativa que ha generado gran controversia en el mercado eléctrico español.

VIII. Instalación y Mantenimiento.

El último capítulo de este estudio va a dedicarse al desarrollo y explicación, de la forma más precisa y clara, los fundamentos para que la instalación y el mantenimiento de los equipos sea segura y correcta. Para ello, se ha añadido el “Anejo Mantenimiento e Instalación” donde se explica exhaustivamente ambas tareas.

En el presente estudio, el desarrollo de estos aspectos se ha centrado en los equipos que se consideran los más importantes de la instalación, el módulo y el inversor. A continuación se va a comentar de forma resumida los manuales de ambos equipos y centrándose en lo que se considera más importante.

i. Módulos.

Instrucciones para una correcta INSTALACIÓN MECÁNICA:

Seleccionar la localización.

- Seleccionar una localización adecuada para instalar los módulos.
- Los módulos deben orientarse hacia el sur en latitudes del norte y hacia el norte en latitudes sur.
- Los módulos no deberían estar a la sombra en ningún momento.
- No usar los módulos cerca de instalaciones donde se generen gases inflamables.

Instalación general.

- Antes de instalar el módulo, comprobar si hay alguna desviación óptica.
- La estructura donde se monta el módulo debe ser duradera, resistente a la corrosión y de un material resistente a UV.
- En zonas con problemas de nieve en invierno seleccionar un sistema de soporte lo suficientemente alto para que el módulo se cubra lo mínimo posible de nieve.
- Para sistemas montados en el suelo, la mínima distancia entre el suelo y el módulo son 60cm.
- Los módulos deben estar anclados de forma segura a los soportes.
- Para una correcta ventilación bajo el módulo se recomienda una distancia mínima de 10cm entre el plano del tejado y las barras del módulo.
- Comprobar que el techo sobre el que se instalan los módulos es adecuado para ese uso.
- Los módulos deberían instalarse con un ángulo no menor de 10º para facilitar que la lluvia quite el polvo.
- Tener en cuenta la expansión térmica del marco del módulo.
- Mantener el frente y parte trasera del módulo libre de objetos extraños, plantas y vegetación, elementos estructurales, los cuales puedan entrar en contacto con el módulo, especialmente cuando el módulo está bajo carga mecánica.
- Asegurar que el módulo no está sometido a cargas de viento y/o nieve superiores a las máximas permitidas, y no experimenta fuerzas de expansión térmica excesivas.

Métodos de instalación.

- Los módulos pueden instalarse sobre marcos agujereados, abrazaderas o una intersección de ambos sistemas. A continuación se muestra la forma correcta de instalación:

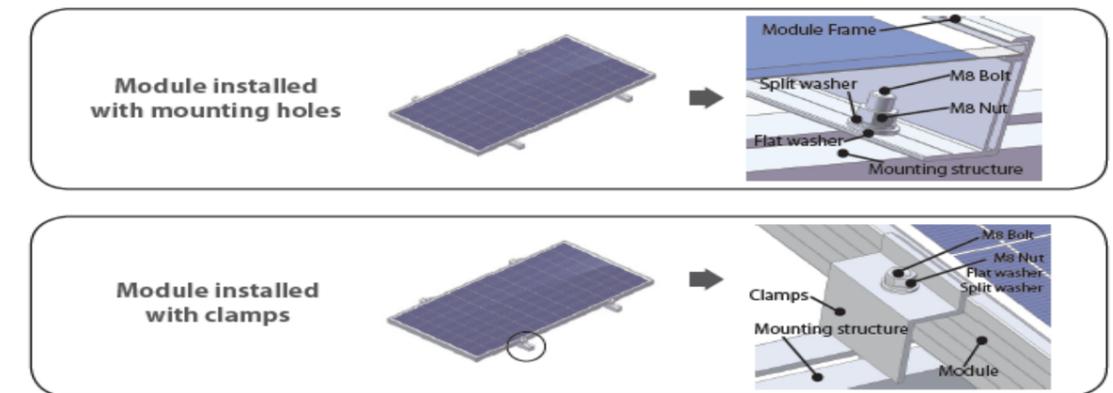


Imagen 14. Métodos de instalación de los módulos.

Directrices accesorias.

- Seleccionar el método de instalación más adecuado en función de la carga y el tipo de módulo. En este caso la carga es muy pequeña y se tiene un tipo de módulo “W Series” (1640x992x35mm³).
- Debido a las características del soporte y la carga, se ha elegido un sistema de abrazaderas sujetado en el lado largo. A continuación se muestra un croquis:

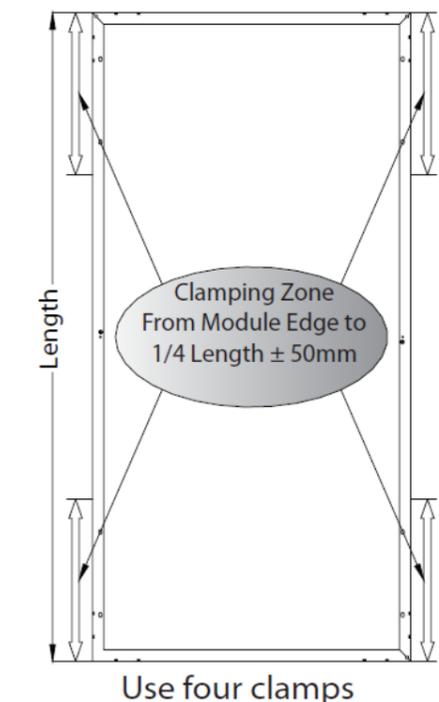


Imagen 15. Sistema de anclaje módulo-soporte.

Para un rendimiento óptimo durante la vida útil de los módulos el manual recomienda las siguientes medidas referentes al MANTENIMIENTO:

- Limpiar el módulo al menos una vez al año o más a menudo si se encuentra en una zona de alta polución. Quitar todos los objetos orgánicos de su superficie. Usar siempre agua y esponja suave no abrasiva o tela/trapo para una correcta limpieza.
- La polución incontrolada o no limpiar el módulo a tiempo anula la garantía.
- Comprobar las conexiones eléctricas, mecánicas y al suelo cada 6 meses para verificar que están limpias, seguras, sin daños y libres de corrosión. Sino la garantía puede ser anulada.
- En caso de fallo del terreno, NUNCA lavar el módulo con agua hasta que se halla identificado el fallo del suelo, solucionado por un servicio técnico solar autorizado y el inversor está completamente operativo. Esto puede causar electrocución o un tema serio de seguridad.
- Si surge algún problema, consultar un servicio solar de mantenimiento profesional para preguntas.
- Precaución: leer detenidamente las instrucciones de mantenimiento de cada componente usado en el sistema.

ii. Inversor.

Instrucciones para una correcta INSTALACIÓN:

Ambiente de instalación.

El equipo ha sido creado para instalación interna. Para decidir donde llevar a cabo la instalación, deben seguir las siguientes indicaciones:

- evitar ambientes polvorientos;
- verificar que el pavimento soporte el peso del inversor;
- evitar ambientes demasiado estrechos que podrían impedir las normales operaciones de mantenimiento;
- evitar su instalación en lugares expuestos a la luz directa del sol o al aire caliente;
- verificar que la temperatura ambiente, mientras el inversor esté funcionando, sea inferior a:

Temperatura de funcionamiento: $-10 \div +50^{\circ}\text{C}$
Máxima temperatura por 8 horas al día: $+ 45^{\circ}\text{C}$
Temperatura media para 24 horas: $+ 35^{\circ}\text{C}$

Operaciones preliminares.

- Verificación de embalaje.

Al recibir el inversor verificar que el embalaje no haya sufrido daños durante el transporte. Verificar que ninguno de los dos dispositivos antishock colocados sobre el embalaje, sea rojo, en caso contrario seguir las instrucciones que se encuentran sobre el embalaje mismo.

Mucho cuidado al remover el embalaje para evitar rasguños al armario del inversor.

El equipo debe ser manejado con cuidado, eventuales golpes y caídas podrían dañarlo.

Junto al inversor está incluido el presente manual técnico de empleo.

El manejo de los equipos deberá ser realizado por personal con formación adecuada. La gestión de los medios de transporte y colocación en el lugar de ubicación se debe realizar con una carretilla elevadora o maquinas destinadas para esta función y con la caja de origen. Para la ubicación final se utilizará carretilla elevadora o maquinas destinadas para esta función y con la caja de origen, de acuerdo con las instrucciones que se proporcionan a continuación.

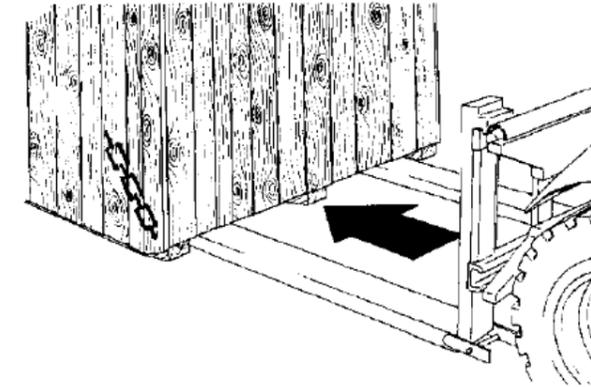


Imagen 16. Ilustración 35. Operaciones preliminares para la instalación del inversor.

1. Ponga las horquillas en la parte inferior del equipo, desde la parte delantera o trasera, asegurándose de que sobresalen en el lado opuesto unos 30 cm. Si va a utilizar una carretilla elevadora, levantar el equipo sólo los elementos esenciales.

2. Conecte el dispositivo a la carretilla elevadora y manipúlelo.

Peligro de vuelco: Para evitar el peligro de vuelco, antes de manipular el equipo asegúrese de que está firmemente anclado en la carretilla elevadora utilizando cables o cuerdas adecuadas.

Durante las operaciones debe tener en cuenta que el “gabinete (inversor)” debe manejarse con cuidado, cualquier golpe o caída puede dañarlo. Una vez colocado, quite el “paquete (embalaje)” con cuidado para no rayar el equipo. Para quitar el paquete (embalaje) debe hacer lo siguiente:

- 1) Cortar el Regge o la cinta.
- 2) Tire cuidadosamente del cartón de los envases.
- 3) Quite los tornillos que sujetan el “gabinete (Inversor)” a la base de madera.
- 4) Use una carretilla elevadora o maquina destinada a este fin para quitar el equipo y apóyelo en el suelo, usando las mismas precauciones que figuran en el párrafo manipulación.

Posicionamiento.

El aire de enfriamiento entra en el inversor desde abajo a través de las rejillas colocadas en la parte frontal de la puerta y saliendo por las rejillas de los ventiladores colocados en el techo del equipo o bien por la parte de atrás de la máquina de acuerdo con su dimensión.

Al posicionar el inversor se debe considerar que:

- Delante del equipo debe estar garantizado un espacio libre de por lo menos un metro para permitir las eventuales operaciones de mantenimiento.

- Debe tener asegurada una distancia de 60 centímetros desde cielo raso o desde la parte de atrás, para una correcta circulación del aire de los ventiladores.
- La entrada de los cables DC y AC está prevista desde el fondo del armario. Las operaciones de conexión de los cables de potencia y de señal deben llevarse a cabo por la parte delantera.

Predisposición instalación eléctrica.

- Protecciones de la instalación:

SIRIO	K12	K15	K18	K25	K33	K40	K64	K80	K100	K200	K250
ENTRADA DC (cables positivo y negativo) por inversor con 330-700Vdc											
I _{max} [A]	36	54	63	80	105	130	205	260	320	650	--
Conexiones	Punta	Punta	Punta	Punta	Punta	Punta	M10	M10	M10	3xM12	--
Secc. Cable	25 mm ²	25 mm ²	25 mm ²	70 mm ²	70 mm ²	70 mm ²	(*)	(*)	(*)	(*)	--
ENTRADA DC (cables positivo y negativo) por inversor con 450-760Vdc											
I _{max} [A]	--	--	--	59	79	98	157	196	245	500	620
Conexiones	--	--	--	Punta	Punta	Punta	M10	M10	M10	3xM12	3xM12
Secc. Cable	--	--	--	70 mm ²	70 mm ²	70 mm ²	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
AC (trifásica)											
I _{max} [A]	19.8	28.1	33.0	44	58	73	116	146	182	364	420
Conexiones	Punta	Punta	Punta	Punta	Punta	Punta	M10	M10	M10	M12	M12
Secc. Cable	25 mm ²	25 mm ²	25 mm ²	50 mm ²	50 mm ²	50 mm ²	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
CONDUCTOR DE TIERRA											
Conexiones	Punta	Punta	Punta	Punta	Punta	Punta	M10	M10	M10	M10	M10

(*)Ver planos de instalación

Tabla 7. Protecciones instalación inversor.

Salida AC

Sobre la línea de salida AC del inversor ha sido previsto un interruptor automático magneto térmico. Este interruptor no puede proteger la línea conectada al inversor de eventuales averías. Debe ser por lo tanto prevista primero de ésta, una oportuna protección según las dimensiones de la tabla precedente y las características del cable instalado.

La conexión del conductor neutro es necesario si las regulaciones locales requieren la medición de las tensiones de fase. Este conductor se utiliza como referencia únicamente y no debe ser atravesada por corrientes apreciables.

Entrada DC

Sobre la línea de entrada DC ha sido previsto un seccionador con un fusible en serie Conexiones al campo fotovoltaico y la red

Las operaciones descritas deben ser llevadas a cabo sólo por personal capacitado.

La primera conexión que debe ser efectuada es la del conductor de tierra al borne que lleva el símbolo:



EL INVERSOR NO DEBE FUNCIONAR SIN CONEXIÓN A TIERRA.

Antes de efectuar la conexión abrir todos los interruptores de la máquina y verificar que el inversor y las líneas que deben ser conectadas estén totalmente aisladas con respecto a las fuentes de alimentación: campo fotovoltaico y red de distribución AC.

En especial cerciorarse que:

- la línea de llegada del campo fotovoltaico haya sido seccionada del mismo;
- los seccionadores del inversor SWIN y SWOUT estén en posición de abierto;
- no subsistan tensiones peligrosas (DC y AC) utilizando un multímetro para las oportunas mediciones.

La red AC a la que conecte el inversor debe ser trifásica (no es necesaria la conexión del conductor de neutro).

- Verificación de las conexiones:

Una vez realizada la conexión de los cables de TIERRA, ENTRADA y SALIDA, antes deberá volver a posicionar el panel que cubre la caja de bornes, para ello será necesario verificar que:

- todos los bornes de entrada / salida están bien ajustados;
- todos los portafusibles presentan un fusible y están en posición de cerrado;
- está correctamente conectado el conductor de protección.

A continuación se muestran las operaciones de MANTENIMIENTO necesarias:

Los inversores SIRIO han sido ideados y realizados para una larga duración incluso ante las condiciones de servicio más severas. Se recuerda, en todo caso, que se trata de equipos eléctricos de potencia, que como tales necesitan ser periódicamente controlados. Además, algunos componentes presentan un ciclo de vida propio y como tales, deben ser periódicamente revisados y eventualmente sustituidos en el caso en el que las condiciones lo hagan necesario: en especial los ventiladores y en algunos casos los condensadores electrolíticos. Se aconseja por lo tanto seguir un programa de mantenimiento preventivo, confiado a personal especializado y autorizado por la empresa fabricante. El Servicio de Asistencia de la Empresa estará siempre disponible para proponer las diferentes opciones personalizadas de mantenimiento preventivo.



El mantenimiento al interno del inversor puede ser llevado a cabo solamente por personal capacitado.

Dentro del inversor subsiste ALTA TENSIÓN incluso cuando la alimentación y los módulos fotovoltaicos hayan sido desconectados.

Después de haber desconectado la línea de alimentación DC y la red de distribución AC, el personal capacitado, antes de intervenir dentro del equipo debe esperar aproximadamente 20 minutos para dejar que los condensadores se descarguen.

Mantenimiento preventivo

Mucho cuidado a seguir periódicamente las siguientes operaciones:

- cerciorarse que las ranuras de entrada del aire (en la puerta anterior y al fondo del armario) y que las rejillas de salida colocadas sobre el techo del armario estén limpias.
- Cerciorarse que el inversor esté funcionando correctamente (en la pantalla debe aparecer el mensaje "FUNCIONAMIENTO NORMAL). Si se presenta un mensaje de alarma verificar su significado en el manual y eventualmente contactar el servicio de asistencia.
- Controlar que los parámetros de funcionamiento se mantengan dentro de los rangos indicados en el parágrafo CARACTERÍSTICAS GENERALES.

Visto que los módulos fotovoltaicos son una fuente de energía, el seccionamiento de la instalación de distribución AC no elimina el peligro. DAR LA MÁXIMA ATENCIÓN A LA TENSIÓN DC QUE PROVIENE DE LOS MODULOS FOTOVOLTAICOS INCLUSO EN CONDICIÓN DE BAJA RADIACIÓN SOLAR.

IX. Instalación determinada y Conclusiones.

Instalación propuesta.

Una vez realizado todo el estudio la alternativa más eficiente consiste en conectar la industria a la red e instalar en 4/5 de la superficie de la cubierta paneles solares policristalinos de 265W, de la empresa solar SUNTECH.

Con esta disposición y las características solares de la zona y geométricas de la nave se genera una potencia 63'38 kW, por lo que se necesitan un total de 242 módulos (11 en serie y 22 en paralelo) con los que se genera un potencia de 64 kW. Para ello se ha propuesto un inversor centralizado Sirio K64 con un potencia normal de 64 kW y máxima de 71 kW.

La inversión realizada ronda los 100.000 € y el gasto eléctrico, no cubierto por los paneles solares, previsto es de 90.000 €. Por otra parte, mediante la instalación de placas solares, la industria analiza ahorra un total de 220.000 € de energía que debería comprarse en la red. La energía en exceso que se vende con esta alternativa supone unos 45.000 €. Esto supone un gasto eléctrico residual del 40 % y una cobertura de este gasto del 50 %, lo que supone un GER del 20 % aproximadamente una cifra muy provechosa desde un punto de vista económico.

La rentabilidad del proyecto se ha analizado mediante 3 indicadores: TIR, VAN y *Payback*. Puesto que el TIR ronda el 16 %, valor muy conveniente, el VAN está en torno a los 160.000 € y el *Payback* es de algo más de 6 años se puede decir que es una inversión muy rentable, teniendo en cuenta que este tipo de proyectos se realizan con el propósito de que dure al menos 25 años la inversión realizada.

Conclusiones.

La zona estudiada se sitúa en una localización con un clima mediterráneo que ofrece más de 300 días de sol al año y una potencia incidente muy alta respecto a otras zonas europeas. Esto convierte al emplazamiento seleccionado es un seguro de rentabilidad. Por ello se puede decir que las características climáticas y el entorno en el que se sitúa la nave industrial son muy propicios para instalar un aprovechamiento solar fotovoltaico

El mercado energético español ha sufrido numerosos cambios en su historia, pero siempre ha sido satisfecho por las energías fósiles. La concienciación por el medio ambiente y la búsqueda de una fuente renovable de energía han posibilitado que, las denominadas energías limpias experimenten un gran auge, sobre todo a principios del siglo XXI. El poco conocimiento y su mayor dificultad en la tecnología solar, respecto a otras como la hidráulica, ha hecho que su difusión sea mucho más lenta y retardada. Su principal inconveniente era el coste que suponían los equipos, pero a medida que ha ido evolucionando su tecnología, el coste ha ido descendiendo significativamente y ha ido aumentando su peso en la sociedad.

La producción solar obtenida con la base de datos consultado ha dado resultados de la zona de estudio sensacionales cuantitativamente. Debido a que la orientación y la inclinación determinan la producción, estos dos aspectos no han sido elegidos al azar. Puesto que la zona donde se sitúa nave tiene una montaña en dirección sureste la orientación óptima de los paneles va a ser en dirección noroeste. Respecto la inclinación y observando las gráficas de producción, se concluye que los paneles solares deben inclinarse 45º, para que la producción en invierno no sea muy insuficiente.

Las curvas diarias tanto de producción como de demanda no se acoplan perfectamente, pues los ritmos de trabajo de la industria no se asemejan a los horarios del sol. En cambio, como se ha comprobado posteriormente en el estudio económico las curvas de producción tienen excesos de energía que pueden ser aprovechados. Por ello, que no se acoplen perfectamente no impide que la energía generada se aproveche al máximo.

Las curvas de producción-demanda mensuales indican que hay una clara deficiencia de producción en los meses invernales, aun escogiendo un ángulo de inclinación que paliara lo mayor posible, sin afectar en exceso a la producción total, esta insuficiencia. Por el contrario, el resto del año la demanda total del mes es satisfecha por la producción de energía solar mensual. Por lo que se puede decir que el gasto residual energético que se ha visto proviene casi en su totalidad de los meses de invierno donde la demanda no está completamente satisfecha.

Los anclajes escogidos permiten una inclinación de hasta 30º que junto con los 20º de inclinación de la cubierta permiten alcanzar la inclinación óptima indicada. Tras realizar los cálculos pertinentes respecto los elementos de sujeción se concluye que los anclajes seleccionados resisten las solicitaciones que pueden darse en la zona analizada. También es necesario indicar que la cubierta resiste con holgura el peso al que se ve sometida debido a la instalación de los 242 módulos solares.

Como se ha comprobado el mercado eléctrico tiene muchos cambios y fluctuaciones de los precios, por ello se concluye que los precios estimados son una referencia para el estudio, pero que en ningún caso, los precios propuestos van a mantenerse durante los 25 años de vida útil de la instalación. Pero dada la investigación y análisis llevado a cabo para la obtención de los mismos, se puede afirmar que la referencia de los precios mostrados es un muy punto de partida.

Del presente estudio se concluye que la instalación de paneles solares en este tipo de nave industrial resulta rentable. Puesto que la energía solar es una energía limpia y renovable. El coste que supone la inversión se compensa a lo largo de la vida útil de la instalación.

Cuanto mayor es la cantidad de paneles solares no se consigue un mayor rendimiento de la instalación. Como se ha comprobado el rendimiento de la instalación no depende de la mayor superficie ocupada por células fotovoltaicas, sino que depende de aprovechar al máximo el uso de los equipo, sin desaprovechar capacidad de potencia de los elemento de la instalación. Por lo que el elemento clave para el rendimiento es principalmente el inversor, que debe ajustarse a la potencia generada, sin quedarse corto.

Puesto que el precio ahorrado en autoconsumo es mayor que el precio de venta de la energía en exceso, por lo que, en un principio, para coherente pensar que el uso de baterías para el almacenamiento de la energía sobrante y posterior autoconsumo sería más rentable. En cambio, la gran

inversión realizada no ha sido compensada con un ahorro sustancial. Por ello, la alternativa del uso de baterías en instalaciones de gran producción como éstas se ha comprobado que son peores que la opción que se ha planteado desde un principio: autoconsumo y venta de la energía generada y conexión a la red para utilizar la energía del sistema en momento del día en que se produzca menos de la energía necesaria en la industria. Aunque es necesario comentar que la autonomía con el uso de las baterías es mucho mayor llegándose a casi el 0 % de necesidades de compra de energía a la red, con la alternativa de llenado total de la cubierta. Esto podría ser útil en zonas con precariedad de la red eléctrica con continuos cortes, por ejemplo.

Como se ha visto, la tendencia de la normativa referente a las energías renovables es muy negativa, pues, a principios de siglo se subvencionaba su uso de forma muy generosa y actualmente es necesario pagar unos peajes por su uso, que en algunos casos hacen casi inviable la alternativa, como es el caso del uso de baterías. En el caso de la instalación conectada a la red se aprecia una disminución considerable de las ganancias esperadas. Se concluye que, aun con la normativa actual en la que se deben pagar peajes por el autoconsumo, la alternativa escogida sería rentable pero reduciría su VAN a, tan sólo, 30.000 €.

Finalmente se observa que estos equipos dado su valor y delicadez requieren de unos manuales muy específicos para su instalación y mantenimiento. La instalación no se puede realizar por gente inexperta, se necesita la contratación de técnicos expertos en montaje de elementos solares, pues el factor eléctrico es muy importante como se ha visto en los dos manuales adjuntados. El mantenimiento es pieza fundamental para cumplir con los objetivos económicos marcados pues un mal o inexistente mantenimiento puede disminuir la producción de forma considerable.

Las tareas de mantenimiento necesarias en el módulo, para evitar una pérdida de eficiencia consisten principalmente en, limpiar una vez al año los cristales del módulo y retirar objetos de su superficie y comprobar las conexiones mecánicas, eléctricas y al suelo cada 6 meses. Dada la sensibilidad e importancia de los inversores, estos requiere un mantenimiento trimestral, en los que se comprobará que las ranuras de entrada del aire y que las rejillas de salida colocadas sobre el techo del armario estén limpias (y limpiarlas en caso contrario), asegurarse que aparezca el mensaje "FUNCIONAMIENTO NORMAL" en la pantalla del inversor y controlar que los parámetros de funcionamiento se mantengan dentro de los rangos establecidos.



X. Referencias.

- ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. M.Castro PROGENSA (Promotora General de Estudios)
- INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS. E.Alcor, Cuarta Edición (PROGENSA).
- SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. Introducción al diseño y dimensionado S.A.P.T. Publicaciones
- I. D.A.E. Pliego de Condiciones Técnicas para Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.
- I.D.A.E. Energía Solar en ESPAÑA 2007.
- I.D.A.E. El sol puede ser tuyo.
- S.A.M.SISTEMAS. (La Tecnología Solar Fotovoltaica)
- A.S.I.F. (Asociación de la Industria Fotovoltaica). Informe ASIF. Hacia una electricidad respetuosa con el Medio Ambiente).
- A.S.I.F. (Asociación de la Industria Fotovoltaica). Informe ASIF. Fotovoltaica conectada a la red Informe 2008.
- CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGÍA SOLAR. Instalaciones de Energía Solar.
- COMISION EUROPEA FOTOVOLTAICA GEOGRAFICA INFORMACION SISTEMA PVGIS.
- Instituto para los Sistemas de Energía Solar, Fraunhofer
- OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía).
- INE (Instituto Nacional de Estadística).
- Google Maps. Google Earth (imágenes).
- Miguel Ángel Pérez Martín. Aprovechamientos hidráulicos y energéticos (T3. Energías renovables Energía Solar) (Apuntes UPV).
- AEMET (Agencia Estatal de Meteorología).
- IGN (Instituto Geográfico Nacional).
- Catálogo productos SUNTECH.
- Catálogo productos Riello Aros.
- Catálogo baterías solares TAB 0.
- Catálogo precios TECHNO SUN.
- ENERGÍA y SOCIEDAD, *Regulación española de las energías renovables, Electricidad, 2014*
- EL HUFFINGTON POST, *Qué es el "impuesto al sol" y cómo van a cobrar por el auto consumo energético, 24 jun de 2016.*
- Reales Decretos estudiados:
 - o Real Decreto 1578/2008.
 - o Real Decreto 1/2012.
 - o Real Decreto 900/2015.

En Valencia, a 7 de septiembre de 2016

Fdo. Borja Sanchis Molines