



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Oportunidades de la energía fotovoltaica en
España: análisis de viabilidad aplicado a un
parque para venta de energía y al autoconsumo
en una vivienda unifamiliar

Autor

Javier Sierra Rivasés

Directora

María Paz Comech Moreno

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2018



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

[Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación].

D./D^{ña}. Javier Sierra Rivasés

con nº de DNI 18058522A en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo

de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la

Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)

Grado, (Título del Trabajo)

Oportunidades de la energía fotovoltaica en España: análisis de viabilidad aplicado a un parque

solar para venta de energía y al autoconsumo en una vivienda unifamiliar.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 10/07/2018

Fdo: _____

RESUMEN

Oportunidades de la energía fotovoltaica en España: análisis de viabilidad aplicado a un parque para venta de energía y al autoconsumo en una vivienda unifamiliar

En los últimos 10 años, la inversión en energía solar ha perdido el atractivo que tenía anteriormente debido principalmente a causas económicas. España es uno de los países europeos con mayor recurso solar, por lo que, en este TFG se plantea si esas causas económicas realmente hacen que estas instalaciones no sean rentables. Para ello se han analizado dos casos de estudio: un parque fotovoltaico para venta de energía y el autoconsumo en una vivienda unifamiliar.

En el primer caso de estudio, se ha dimensionado un huerto solar de 90 kW de potencia nominal, para lo que se han seleccionado los módulos fotovoltaicos del campo de paneles y los inversores y se ha calculado el cableado de dicho parque. El objetivo de este dimensionamiento es obtener tanto la inversión inicial como su producción energética anual. A partir de estos resultados y tras valorar las diferentes alternativas para la venta de energía producida con un parque solar, la opción seleccionada para este caso es la venta a través de un representante, ya que en esta opción toda la gestión de ofertas en el mercado mayorista es realizada por dicho representante por un precio reducido. En estas condiciones se ha obtenido la rentabilidad de la instalación calculando los parámetros VAN y TIR mostrando una rentabilidad mayor de lo esperada, aunque, tal y como se expone al final del punto 3.4.4, no basta solo con los valores altos de VAN y TIR que se han obtenido, sino que hay que tener presente la incertidumbre respecto a la futura rentabilidad de esta instalación.

En el segundo caso de estudio se han analizado diferentes kits de autoconsumo para una vivienda unifamiliar, realizando como en el caso anterior, un estudio económico de rentabilidad. Se ha valorado un kit con almacenamiento energético y otro sin él comparándolas entre sí para ver cuál de ellas se debería instalar en el caso analizado según los valores obtenidos. Para la vivienda analizada, se ha obtenido una mayor rentabilidad para la instalación sin almacenamiento, ya que la inversión inicial es mucho menor. Finalmente, también para este caso se ha realizado una reflexión sobre si los posibles escenarios futuros favorecen o perjudican este tipo de instalaciones.

En este TFG se ha comprobado que en la actualidad existen diferentes oportunidades de la energía solar fotovoltaica que, a pesar de tener una mala carta de presentación, pueden resultar de gran interés económico. Sin embargo, es necesario señalar que es necesario analizar cada futura instalación de forma particularizada teniendo en cuenta diversos factores como la ubicación, la compañía distribuidora, etc. Para valorar su rentabilidad.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	2
2.1	Evolución de la energía solar fotovoltaica en España.....	2
2.2	Expectativas y proyecciones de futuro.....	2
2.3	Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....	3
2.3.1	Huertos solares para venta de energía.....	3
2.3.2	Autoconsumo de energía.....	3
3.	VIABILIDAD DE UN PARQUE GENERADOR DE 90 KW.....	6
3.1	DESCRIPCION DE LA INSTALACIÓN DIMENSIONADA.....	6
3.2	PASOS REALIZADOS PARA INSTALAR UN HUERTO SOLAR.....	7
3.3	CONDICIONES Y REQUISITOS TÉCNICOS A CUMPLIR PARA OBTENER EL CERTIFICADO DE VALIDEZ DE LA INSTALACIÓN.....	8
3.4	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN.....	10
3.4.1	Opciones de venta de energía.....	10
3.4.2	Cálculo de energía generada.....	11
3.4.3	Cálculo de beneficio obtenido.....	12
3.4.4	Cálculo de VAN y TIR.....	13
4.	VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO EN VIVIENDA.....	16
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ANALIZADA.....	16
4.1.1	Kit con inversor híbrido y almacenamiento.....	16
4.1.2	Kit de conexión a red.....	17
4.2	PASOS REALIZADOS PARA INSTALAR PLACAS SOLARES PARA AUTOCONSUMO.....	18
4.3	CONDICIONES Y REQUISITOS TECNICOS A CUMPLIR.....	18
4.4	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	18
4.4.1	Energía consumida en la vivienda.....	19
4.4.2	Cálculo de energía generada.....	20
4.4.3	<i>Cálculo del ahorro obtenido</i>	22
4.4.4	Cálculo de VAN y TIR.....	24
5.	CONCLUSIONES.....	28
6.	REFERENCIAS.....	29
7.	ANEXOS.....	31

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica en España debería ser una de las más extendidas no solo para producción a gran escala, sino también para el autoconsumo, debido a la cantidad de radiación solar que llega mayor parte del territorio nacional. Sin embargo, en los últimos años las diferentes condiciones económicas y políticas han frenado el crecimiento de las energías renovables que se tenía antes de la crisis económica del 2008.

Por otra parte, las políticas actuales en energía, tanto desde la Unión Europea como a nivel nacional hacen prever un nuevo crecimiento en la instalación de las energías renovables y la generación distribuida mediante la energía solar fotovoltaica.

En este TFG se estudian algunas de las posibles oportunidades que presenta esta energía renovable considerando las condiciones actuales para dos casos de estudio correspondientes a dos tipos de aplicaciones fotovoltaicas por separado:

- Un parque generador mediante paneles solares destinado a la venta de energía.
- Las posibilidades de autoconsumo en una vivienda unifamiliar típica.

El procedimiento seguido en las dos aplicaciones es similar. En ambos casos se detallan los trámites y condiciones que se deben cumplir para poder poner en marcha estas instalaciones, el dimensionamiento de la instalación, el cálculo energético y los resultados económicos. Cada instalación se ha dimensionado teniendo en cuenta que el objetivo de cada una de ellas es diferente, ya que en el primer caso la finalidad es obtener beneficio a partir de la venta de energía y en el segundo obtener el máximo ahorro posible en el consumo de energía de la vivienda.

La estructura de esta memoria es como sigue: En el capítulo 2 se realiza una descripción de la energía solar fotovoltaica y sus aplicaciones. En el capítulo 3 se analiza la viabilidad del parque fotovoltaico para venta de energía y el capítulo 4 la viabilidad de la instalación de autoconsumo en vivienda. Finalmente, en el capítulo 5 se resumen las conclusiones de este estudio junto con una reflexión acerca del futuro de este tipo de energía en España.

2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica tuvo un gran desarrollo mundial en la última mitad del siglo XX. La primera célula solar de silicio se fabricó en 1954, en los laboratorios Bell Telephone (EEUU). Durante los años 1960 a 1980, la energía solar fotovoltaica solo se empleaba en aplicaciones espaciales, principalmente por el alto coste que suponían estas instalaciones en los años dichos y a partir del año 1975 se empezó a utilizar este tipo de tecnología en medios terrestre.

2.1 Evolución de la energía solar fotovoltaica en España

En nuestro país, desde el año 2004, se hizo una apuesta firme por esta fuente de energía, mediante los Reales Decretos 436/2004 y 661/2007, que establecieron primas a los productores de energía mediante fuentes renovables. Pero, el sistema de retribuciones establecidas en 2007 no estuvo bien diseñado, principalmente, porque no se puso límite a la potencia máxima instalada, de forma que hubo un gran boom de la instalación de placas solares durante el año 2007 y conllevó una reestructuración posterior de estas retribuciones durante los siguientes años.

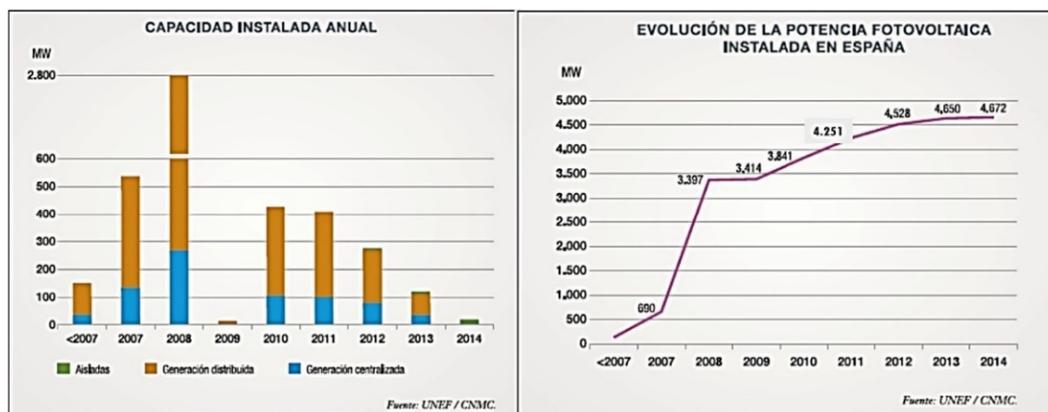


Figura 1: Potencia solar fotovoltaica instalada y acumulada por año.

Fuente: (Google) [ref. 1].

Como se ve en la Figura 1, en 2008 hubo un boom de potencia instalada, en 2009 el crecimiento en la potencia instalada se estancó debido a la crisis económica y a la ausencia de primas por producción, y a partir de 2011, cada vez se instala menos potencia, ya que la inversión en paneles fotovoltaicos ha dejado de ser tan atractiva como lo era en la primera década del siglo XXI.

2.2 Expectativas y proyecciones de futuro

El futuro de la energía pasará necesariamente por el desarrollo de las energías renovables en general y de la fotovoltaica en particular, especialmente en España, donde debido a nuestra posición geográfica se dispone de una cantidad de radiación solar anual mayor a la media europea y unos datos de horas de sol al año envidiables. Según [ref. 1], con un marco regulatorio mínimamente sensato, el sector fotovoltaico en nuestro país debería tener un futuro espléndido.

2.3 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

En la actualidad, la energía generada a través de módulos fotovoltaicos tiene múltiples aplicaciones. Sus usos más extendidos son producción para venta directa de la energía, para autoconsumo y en sistemas aislados.

2.3.1 Huertos solares para venta de energía

En estas instalaciones, se realiza una disposición típica de un huerto solar, conectando paneles en serie y paralelo, para generar una corriente en DC (corriente continua), que irá a la entrada de un inversor que adapta la señal a AC (corriente alterna), para después inyectar la energía en la red de distribución a cambio de una retribución por kWh inyectado.



Figura 2: imagen de un huerto solar.

Fuente: (Google).

2.3.2 Autoconsumo de energía

El autoconsumo fotovoltaico hace referencia a la producción individual de electricidad para el propio consumo. Esta práctica puede ser llevada a cabo por individuos, familias, empresas, centros públicos, etc., siempre y cuando la electricidad producida solo la utilicen los mismos.

El sistema tecnológico que se utiliza para generar la electricidad es denominado sistema de autoconsumo. Los sistemas de autoconsumo pueden ser aislados, de conexión a red o conmutados con la red a través de un inversor híbrido [ref. 12]. En la actualidad existen en el mercado diferentes “kits” que están formados por los diferentes componentes necesarios para cada uno de los usos:

- Kits solares aislados de red que dispone de baterías y módulos solares para abastecer de electricidad al domicilio sin estar conectados a la red de suministro eléctrico. No se suelen usar en ciudades o zonas con fácil acceso a la red de distribución, debido a la posibilidad de quedarse sin suministro eléctrico. Sin

embargo, son tremendamente útiles para zonas donde el acceso a la red de distribución es complicado [ref. 4].



Figura 3: señal de tráfico con panel solar aislada de la red.

Fuente: (Google).

- Kits con inversores híbridos, formados por los módulos fotovoltaicos, las baterías y el inversor que realiza la conexión al domicilio a la vez que se hace conexión a red, por lo que disponen de una gran versatilidad. En el caso en que se produzca energía por radiación solar y no haya demanda, se almacena en las baterías para luego consumirla. Si el consumo supera a la producción de los módulos, se toma energía de las baterías. Solo cuando la energía generada más la almacenada no sea suficiente para satisfacer la demanda, se tomará energía de la red. Destacar que, este tipo de kit tiene un precio mayor respecto a otros y además, las baterías que almacenan energía son muy contaminantes. [ref. 5]
- Kits de conexión a red, formados por los módulos y el inversor que realiza la conexión directa al cuadro del domicilio que se quiera abastecer. Este kit, tiene un precio más asequible que el mencionado anteriormente. Su principal desventaja es que cuando no hay demanda de energía, pero si posibilidad de producir, está energía se pierde ya que no se puede verter a red debido a la legislación española. Por ello, mediante un dispositivo de vertido 0 a red, se evita la inyección de energía y aunque haya radiación solar, si no hay consumo, no se producirá. [ref. 6]



Figura 4: kit de conexión a red para autoconsumo.

Fuente: (Google).

En el presente TFG, se analizarán los casos de Kits de conexión a red, y Kits con inversor híbrido conmutado con la red. No se plantea la instalación de un sistema aislado para la vivienda unifamiliar ya que se considera que tiene un punto de conexión a red y los sistemas aislados se utilizan en zonas de difícil conexión a la red eléctrica.

3. VIABILIDAD DE UN PARQUE GENERADOR DE 90 KW

Para analizar la venta de energía mediante un huerto solar se realiza un estudio sobre la instalación de un parque de 90 kW de potencia nominal, que inyectará corriente en BT a la red de distribución a cambio de una compensación económica. En los cálculos realizados, se tienen en cuenta tanto aspectos técnicos que deberá cumplir la instalación como rentabilidad que esta aportará al inversor.

El dimensionamiento de la instalación mencionada anteriormente, teniendo en cuenta las horas de sol que hubo en la zona elegida (Zaragoza) durante el año 2017, la cantidad de radiación solar que llegó y los precios del mercado mayorista de dicho año.

Se han seleccionado los paneles solares a instalar, la conexión entre ellos y la longitud y sección de los cables necesarios para cada parte de la instalación. Además, se eligen los inversores más adecuados para el huerto solar y las estructuras sobre las que irán los módulos fotovoltaicos. Gracias al dimensionamiento del parque, ha sido posible realizar una aproximación del presupuesto necesario para llevar a cabo esta inversión.

3.1 DESCRIPCION DE LA INSTALACIÓN DIMENSIONADA

Se trata de un parque generador instalado en la zona de Monte canal (Zaragoza) que consta de un total de 5 inversores de 18 KW, los cuales dan el valor de la potencia nominal ($18 \times 5 = 90$ kW).

A cada inversor, irán conectados 57 módulos siguiendo el siguiente esquema:

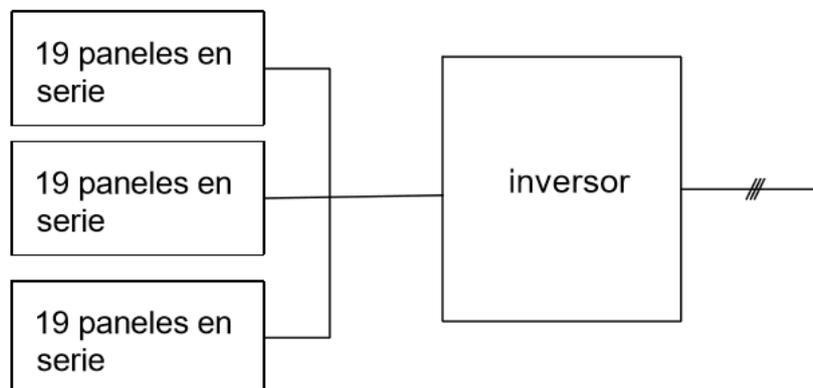


Figura 5: Conexión de paneles a cada inversor.

Como se tienen un total de 5 inversores, habrá $57 \times 5 = 285$ módulos fotovoltaicos de 320 W de pico cada uno en condiciones estándar.

Cada inversor tiene un seguidor MPPT (seguidor de punto de máxima potencia en inglés) que consigue que los paneles solares estén en el punto de máxima potencia en todo momento. Dispondrá también de separación galvánica entre el lado DC y AC, de protección anti-isla, seccionador en el lado DC e interruptor magnetotérmico en el lado

de AC; todo ello para cumplir con los requisitos de conexión a red de la compañía distribuidora.

A cada grupo de 19 paneles en serie que se ve en la Figura 5 se les instalará un primer nivel de protección, con descargadores de tensión, fusibles y seccionadores, además de un segundo nivel de protección a la entrada de cada inversor, incluyendo las mismas protecciones citadas anteriormente. De esta forma se pueda desconectar un grupo de 19 en caso necesario, sin necesidad de desconectar los otros dos.

En la parte de AC, es decir, a la salida del inversor, se instalarán las protecciones oportunas requeridas por la distribuidora para la conexión a red, tal y como se expone en la Figura 6 del punto 5.3.

3.2 PASOS REALIZADOS PARA INSTALAR UN HUERTO SOLAR

Una vez realizada la inscripción previa de la instalación en el ministerio de energía, para conectar la instalación a la red de distribución se procederá de la siguiente manera:

1. Contactar con la empresa distribuidora pertinente (en este caso, en la ciudad de Zaragoza, Endesa Distribución), para solicitar el punto de conexión, incluyendo la información:
 - 1.1. Datos generales y de contacto de solicitante y representante.
 - 1.2. Datos de ubicación de la central, nivel de tensión y punto de conexión propuesto, aportando documentación asociada (planos, esquemas).
 - 1.3. Tipo de generación, potencia de la central (kW) y características técnicas básicas de la central.
 - 1.4. Se informará sobre si es necesario justificar resguardo de presentación de aval y su cuantía en función del tipo de generación y ubicación.
 - 1.5. Otra información necesaria según el caso.

Para instalaciones menores de 100 kW, como en el huerto solar dimensionado, se obtendrá respuesta en un plazo de 15 días.

2. La distribuidora, en este caso Endesa Distribución, contestará con un pliego de condiciones técnicas de los cambios a realizar en la red existente bien por la propia distribuidora o por otra empresa autorizada, incluyendo un documento de condiciones económicas a abonar a la distribuidora en caso de ser esta la ejecutora de los cambios descritos anteriormente.
3. Una vez hecho esto, se debe aceptar las condiciones mediante una declaración fehaciente, tal y como se indique en el documento técnico-económico enviado por la distribuidora anteriormente.
4. Los plazos para la ejecución y puesta en marcha de un suministro en baja tensión (como el que requiere la instalación), dependerán de las modificaciones a realizar de 30 a 80 días hábiles.
5. Por último, una vez realizados los cambios pertinentes en la red, Endesa Distribución realizará las verificaciones oportunas que considere necesarias, y emitirá los correspondientes informes de validez.

Para más información consultar la [ref. 9].

3.3 CONDICIONES Y REQUISITOS TÉCNICOS A CUMPLIR PARA OBTENER EL CERTIFICADO DE VALIDEZ DE LA INSTALACIÓN

Se cumplirá con lo establecido en Endesa Distribución, a través del documento de especificaciones particulares para instalaciones privadas conectadas a la red de distribución en BT (generadores en BT). [ref. 10]

De forma general, tal y como se indica en este documento, el esquema será el siguiente:

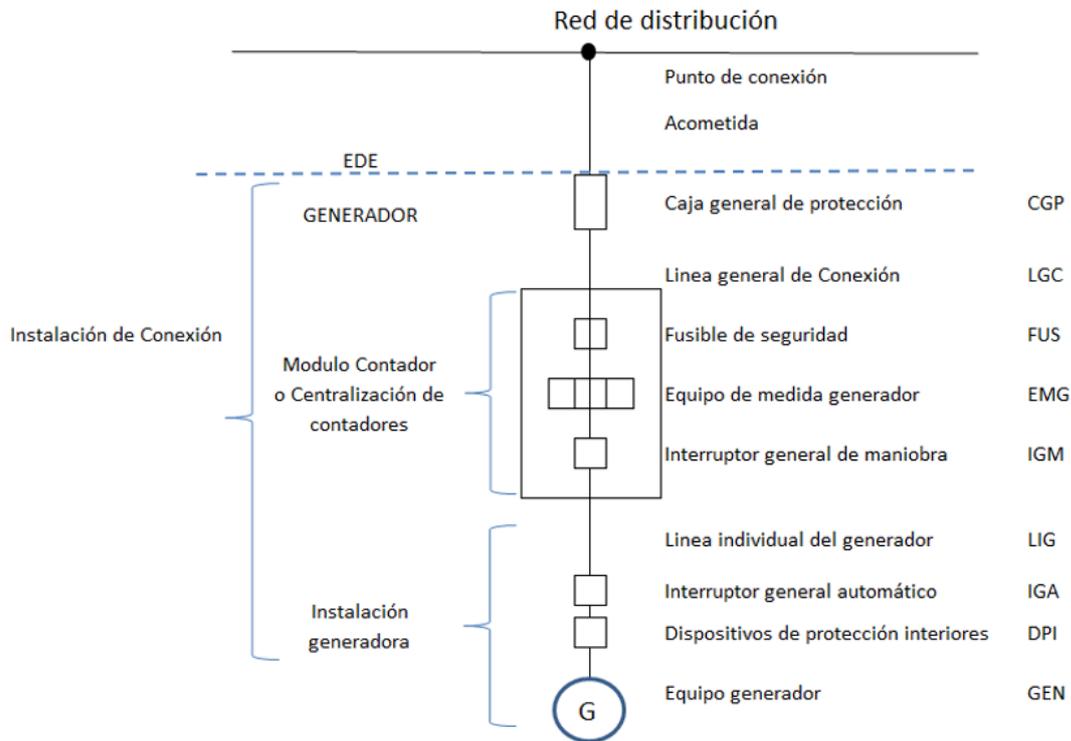


Figura 6: Esquema de conexión de generador a red.

(Fuente: [ref. 10]).

Las protecciones de esta instalación fotovoltaica de acuerdo con el documento citado anteriormente serán:

1. Interruptor general de maniobra (IGM): elemento de corte general con intensidad de paso de cortocircuito superior a la del punto de conexión, seccionable, y accesible al personal de EDE, de forma libre y permanente. Se colocará en una caja independiente de dimensiones adecuadas para el buen conexionado de los conductores y deberá ser precintable.
2. Interruptor automático diferencial para proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento a tierra.
3. Interruptor general automático (IGA) omnipolar para la conexión/desconexión, capaz de establecer, mantener e interrumpir las intensidades de corriente de servicio, o de establecer e interrumpir automáticamente, en condiciones predeterminadas, intensidades de corriente anormalmente elevadas, tales como corrientes de cortocircuito. El interruptor automático irá provisto de relés directos de sobreintensidad magnetotérmicos. El valor de su intensidad vendrá

determinado por la potencia máxima de la instalación de generación, reflejada en el CIE.

4. Dispositivo de protección contra sobretensiones de acuerdo a las especificaciones indicadas en el documento “NRZ103 Especificaciones Particulares para Instalaciones Privadas conectadas a la red de distribución. Consumidores en BT”.
5. Sensibilidad de protecciones. Sobre el interruptor general automático actuarán las protecciones de máxima y mínima tensión, y máxima y mínima frecuencia, en caso de anomalías de tensión o frecuencia nominales de la red. Estas protecciones deben quedar precintadas por EDE (Endesa Distribución Eléctrica). El sistema de rearme de la conexión con la red de BT será automático una vez restablecida la tensión por EDE.

Tener en cuenta, los ajustes que deberán tener las protecciones:

1. Función de mínima tensión:

La función de mínima tensión se conectará entre fases (fase-neutro en instalaciones monofásicas). Dispondrá de desconexión temporizada en tiempo fijo y regulable. Esta función puede estar integrada en el inversor. A tener en cuenta que:

- El ajuste se realizará en un único escalón.
- El umbral de protección y tiempo de actuación será:

Un: -15% Máx. 1,5 seg

En el caso de instalaciones con obligación de cumplir los requisitos de comportamiento frente a huecos de tensión, como es el caso, el tiempo de actuación será de 1,5 s

2. Función de máxima tensión

La función de máxima tensión se conectará entre fases (fase-neutro en instalaciones monofásicas). Dispondrá de desconexión temporizada en tiempo fijo y regulable. A tener en cuenta que:

- Esta función puede estar integrada en el inversor.
- El ajuste se realizará en dos escalones.
- El umbral de protección y tiempo de actuación será:

Un: +10% Máx. 1,5 seg.

Un: +15% Máx. 0,2 seg.

3. Función de mínima y máxima frecuencia (81m-M)

- Dispondrá de desconexión temporizada en tiempo fijo y regulable.
- Esta función puede estar integrada en el inversor:
- Umbral de protección. Tiempo de actuación

Máx. Frec: 51 Hz Máx. 0,5 seg.

Mín. Frec: 48 Hz Mín. 3 seg.

En caso de actuación de la protección de máxima frecuencia, la reconexión sólo se realizará cuando la frecuencia alcance un valor menor o igual a 50 Hz.

4. Función sincronismo

Si el generador es síncrono deberá instalarse un sistema de comprobación de sincronismo para evitar que se produzcan acoplamientos fuera de sincronismo del generador a la red, provocando incidentes y daños al generador. Las diferencias de magnitudes eléctricas entre el generador y la red no serán mayores de:

- Diferencia de tensiones $\pm 8\%$
- Diferencia de frecuencia $\pm 0,1\text{Hz}$
- Diferencia de fase $\pm 10^\circ$

Si el generador es asíncrono con baterías de condensadores para la autoexcitación, éstas se desconectarán automáticamente en caso de disparo del interruptor general automático.

5. Protección anti-isla

En ningún caso, y con la finalidad de evitar posibles daños personales y materiales, ninguna instalación de generación podrá quedarse funcionando en isla alimentado consumos de la red de distribución.

Para asegurarse de cumplir estos requisitos, es imprescindible elegir los componentes apropiados para conexión a red, en especial el inversor. Es fácil encontrar inversores en el mercado con protecciones anti isla, separación galvánica y seccionadores en ambos lados, que, aunque aumentan el coste de la instalación debido a su precio elevado, son imprescindibles si se desea inyectar energía a la red, ya que la onda de salida de estos es más acorde a los requisitos exigidos por la compañía distribuidora.

3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN

Para analizar la oportunidad de la energía fotovoltaica aplicada a un parque solar para venta de energía es necesario realizar el análisis económico de la instalación.

En este apartado se exponen las opciones barajadas y la finalmente elegida para vender la energía eléctrica generada, además de un resumen de la metodología de cálculo llevada a cabo para el cálculo aproximado de la energía generada con la instalación, el beneficio anual obtenido y la rentabilidad de la inversión.

3.4.1 Opciones de venta de energía

Existen diferentes opciones para la venta de energía de una instalación de este tipo. La primera opción que se plantea es vender la energía directamente en el mercado mayorista como sujeto del mercado. Esta opción implica ser responsable de realizar una estimación de la cantidad de energía que se va a producir cada día además de presentar las ofertas diarias en el mercado mayorista con las condiciones que se quieran plantear (cantidad de energía y precio).

La instalación propuesta, tiene una potencia nominal de 90 kW, mientras que la oferta mínima a presentar en el mercado mayorista, gestionado por OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía) es de 100 kWh, por lo que, no es posible generar la cantidad mínima a ofertar, por lo que, si se presentara la oferta en OMIE, el titular de la instalación sería sancionado con multas debido a los desvíos entre la oferta y la producción.

La opción elegida es participar en el mercado mayorista a través de un representante, en este caso, se elige la empresa ARMIE (Asociación de Representantes en el Mercado de Electricidad), no solo por su coste reducido (el coste para el representado es de 0,70€/MWh producido) sino también por el apoyo que aportan a instalaciones de pequeña potencia como es el caso analizado, ocupándose tanto de la gestión con OMIE como de la estimación de energía que va a producir el huerto solar.

Se debe tener en cuenta que, a la hora de actuar en el mercado de la electricidad a través de un representante, se le deberá dar poder notarial, además de aportarle todos los datos sobre la instalación que la empresa requiera.

3.4.2 [Cálculo de energía generada](#)

El primer paso para conocer el posible beneficio de la instalación es necesario conocer la energía generada que puede ser vendida.

En esta memoria se muestra como ejemplo, el mes de junio. Los resultados del resto de meses del año están disponibles en el ANEXO 1: cálculos energéticos.

Para obtener la energía generada, se utiliza la base de datos PVGIS de la cual obtienen los valores de radiación suponiendo un plano inclinado de 37°, llamado H_{opt} , ya que es la inclinación óptima del emplazamiento. Para el mes de junio es de 6670 Wh/m²/día. [ref. 2]

Mediante la fórmula:

$$E_{gen} = P_{stc} * H_{opt} / G_{stc} \quad [Ec. 1]$$

Donde:

E_{gen} = Energía generada por placa solar (kWh/día)

P_{stc} = Potencia estándar de cada placa solar (kW)

H_{opt} = radiación óptima en plano inclinado a 37° (Wh/m²/día)

G_{stc} = irradiancia global horaria (W/m²)

Sabiendo que la potencia pico de cada panel en condiciones STC es de 320 W, y la irradiancia global estándar en estas condiciones es de 1000 W/m², se tiene que la energía generada por módulo y día en el mes de junio será:

$$E_{gen} = 0,32 * 6670 / 1000 = 2,1344 \text{ kWh/día} \quad [Ec. 2]$$

Multiplicando por los 30 días de junio y por el número de módulos instalados (57 módulos a cada inversor, por 5 inversores), se tiene que en junio:

$$E_{gen \text{ mensual}} = 2,1344 * 30 * 57 * 5 = 18249,12 \text{ kWh} \quad [Ec. 3]$$

Esta energía no tiene en cuenta pérdidas. Para ello, se han considerado los siguientes criterios, tomando valores típicos para este tipo de instalaciones:

- 5% de pérdidas en el inversor según catálogo (ver datos de ANEXO 4: catálogos)
- 3 % de pérdidas por suciedad
- 4 % de pérdidas en conductores
- 3 % de otras pérdidas

Restando las pérdidas a la energía total obtenida en la Ec. 3, se obtiene la energía neta generada en junio, que es de 15511,752 kWh.

La siguiente tabla muestra un resumen de los resultados del cálculo de la energía de cada mes, reproduciendo los cálculos anteriores para cada uno de ellos.

MES	RADIACIÓN EN ÁNGULO ÓPTIMO (Wh/m ² /día)	POR PANEL (kWh/día)	PRODUCCIÓN POR DÍA DE 57x5 PANELES (kWh/día)	PRODUCCIÓN MENSUAL SIN PÉRDIDAS (kWh)
Enero	3400	1,0880	310,08	9612,5
Febrero	4730	1,5136	431,38	12078,5
Marzo	5940	1,9008	541,73	16793,6
Abril	5950	1,9040	542,64	16279,2
Mayo	6240	1,9968	569,09	17641,7
Junio	6670	2,1344	608,30	18249,1
Julio	7170	2,2944	653,90	20271,0
Agosto	6930	2,2176	632,02	19592,5
Septiembre	6280	2,0096	572,74	17182,1
Octubre	5190	1,6608	473,33	14673,2
Noviembre	3880	1,2416	353,86	10615,7
Diciembre	3230	1,0336	294,58	9131,9
Total (kWh)				182120,9

Tabla 1: producción mensual y anual del huerto solar.

3.4.3 Cálculo de beneficio obtenido

Para calcular el precio en euros de la energía generada, es necesario conocer el precio de dicha energía. Acudiendo a la base de datos de OMIE se observa el precio medio de la energía del año y mes deseado. El precio para el mes de junio durante el año 2017 es de 56,93 €/MWh, es decir, de 0,05693€/kWh [ref. 3].

Multiplicando el valor anterior en kWh por la cantidad de energía producida durante el mes de junio, obtenida en el apartado anterior, se tendrá la retribución obtenida bruta de dicho mes.

$$\text{Ben. bruto} = 15511,7\text{kWh} * 0,05693\text{€/kWh} = 883,08 \text{ €} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Para ver el beneficio neto obtenido hace falta restarle la cantidad correspondiente al representante en el mercado (ARMIE). Por cada MWh negociado, a ARMIE le corresponden un total de 0,70€. Por lo que se tiene el beneficio neto de junio:

$$\text{Ben. neto} = 883,08 - \left(0,70 * \frac{15511,7}{1000}\right) = 872,23 \text{ €} \quad [\text{Ec. 5}]$$

En el ANEXO 2: cálculos económicos, se muestran los resultados obtenidos para todos los meses, que se resumen en la siguiente tabla. Para cada mes, se ha considerado el precio medio durante ese mes en el año 2017:

MES	PRODUCCIÓN CON PÉRDIDAS (kWh)	BENEFICIO BRUTO (€)	BENEFICIO NETO (€)
Enero	8170,6	666,89	661,17
Febrero	10266,7	628,53	621,34
Marzo	14274,5	737,28	727,29
Abril	13837,3	721,34	711,65
Mayo	14995,5	813,50	803,01
Junio	15511,8	883,08	872,23
Julio	17230,4	963,87	951,81
Agosto	16653,6	910,29	898,63
Septiembre	14604,8	822,10	811,88
Octubre	12472,2	808,95	800,22
Noviembre	9023,3	602,94	596,62
Diciembre	7762,1	524,02	518,58
	Total (€)	9082,78	8974,42

Tabla 2: beneficio bruto y neto del huerto solar durante 2017.

3.4.4 Cálculo de VAN y TIR

Para obtener el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), se necesita saber el valor de la inversión inicial.

Tal y como se muestra en el ANEXO 2: cálculos económicos, y con ayuda del ANEXO 3: bases de datos, se tiene la siguiente estimación de presupuesto generada a través del software PVSYS:

Inversión			
Módulos FV	285 unidades de 320 Wp	57690	€
Soportes/Integración		8908	€
Inversores	5 unidades de 18.5 kW	20500	€
Ajustes, cableado, ...		3984	€
Otros, varios...	<input type="button" value="Detalles"/>	6000	€
Sustitución subestimada	-	0	€
Inversión bruta, [con impuestos]		97082	€
Financiamiento			
Impuestos	<input type="text" value="21.00"/> %	20387	€
Subsidios	-	<input type="text" value="0"/>	€
Inversión neta		117469	€

Figura 7: estimación de presupuesto del huerto solar [ref. 7], [ref. 8].

Para la realización de estos cálculos debe valorarse la variación de la energía generada a lo largo de la vida útil de los módulos. Según los datos mostrados en el ANEXO 4: catálogos, los módulos fotovoltaicos seleccionados para esta instalación tienen una degradación del 80% en 30 años, lo que da una media de degradación de 0,66% anual. Para analizar una opción más desfavorable, se tendrá en cuenta una degradación anual del 1%, lo que implica directamente una pérdida económica del 1% anual ya que la producción de energía y el beneficio neto, en este caso, son directamente proporcionales.

Se resume en la Tabla 3 el beneficio anual durante los primeros 20 años suponiendo precios de mercado constantes y en la Tabla 4 los valores de VAN y TIR obtenidos.

Como se puede observar, aun considerando unos criterios muy pesimistas en las pérdidas de energía generada y en la degradación de los módulos del huerto solar, se ha obtenido un valor de VAN positivo y un TIR de alrededor del 3,5%. Por lo que la inversión en este huerto solar es rentable, suponiendo que el precio es constante en el mercado mayorista de la electricidad a lo largo de los años analizados.

Sin embargo, los precios de la electricidad en OMIE han aumentado ligeramente año tras año en los últimos tiempos, estando en España actualmente, en los precios más altos de electricidad desde 2009. Es difícil saber cómo evolucionará en el futuro el precio en el mercado mayorista, lo cual puede ser un factor clave en la rentabilidad de este tipo de instalaciones.

Por otra parte, en Europa se está incentivando el uso de energías limpias como la fotovoltaica que, además año a año ve como bajan los costes de fabricación de los paneles solares. Se prevé que hasta el 2030, el 32% de la energía producida en la UE proceda de fuentes renovables, por lo que en los años venideros se pueden esperar una legislación más favorable para este tipo de instalaciones, lo que puede favorecer la rentabilidad obtenida en un futuro [ref. 11].

DATOS	DEGRADACIÓN PANELES (1% ANUAL)	HUERTO SOLAR (BEN. NETO)
tasa		3%
Inv. inicial		-117469
Año 1	1	8974,42
Año 2	0,99	8884,68
Año 3	0,98	8794,93
Año 4	0,97	8705,19
Año 5	0,96	8615,44
Año 6	0,95	8525,70
Año 7	0,94	8435,95
Año 8	0,93	8346,21
Año 9	0,92	8256,47
Año 10	0,91	8166,72
Año 11	0,9	8076,98
Año 12	0,89	7987,23
Año 13	0,88	7897,49
Año 14	0,87	7807,75
Año 15	0,86	7718,00
Año 16	0,85	7628,26
Año 17	0,84	7538,51
Año 18	0,83	7448,77
Año 19	0,82	7359,02
Año 20	0,81	7269,28

Tabla 3: beneficio neto del huerto solar durante los primeros 20 años.

VAN	TIR
4.668,26 €	3,44%

Tabla 4: cálculo de VAN y TIR.

4. VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO EN VIVIENDA

En este capítulo se analizan diferentes alternativas de autoconsumo por medio de paneles solares para una vivienda unifamiliar mediante “kits” disponibles en el mercado que están formados por los diferentes componentes necesarios para la instalación. En este caso de estudio, además de calcular la energía generada mediante la instalación fotovoltaica, es necesario obtener la cantidad de energía que se consume en la vivienda y la porción de ese consumo abastecido por la instalación fotovoltaica.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ANALIZADA

Se han analizado dos alternativas: un kit con inversor híbrido conmutado con la red que dispone de baterías y un kit de conexión a red. La siguiente tabla resume las características principales de cada uno de ellos. Como puede observarse, el precio del kit con inversor híbrido es casi el doble, aunque la potencia de la instalación sea un 35 % inferior al de conexión a red.

ASPECTOS TÉCNICOS	KIT CON INVERSOR	
	HÍBRIDO	KIT DE CONEXIÓN A RED
Potencia total fotovoltaica (kW)	3,42	4,8
Potencia del inversor (kW)	3	4,6
Capacidad de almacenaje	Sí	No
Capacidad de absorber de red	Sí	Sí
Inyección de energía en la red	No	No
Precio (€)	10.555,83	5.383,92

Tabla 5: resumen de los aspectos técnicos de cada Kit estudiado.

En el análisis de estas dos instalaciones, se propone además cambiar la instalación de ACS del domicilio de gas natural a eléctrica.

4.1.1 Kit con inversor híbrido y almacenamiento

Este kit consta de módulos fotovoltaicos, baterías e inversor. Este kit estará conectado a la red según se muestra en el esquema de la siguiente figura.

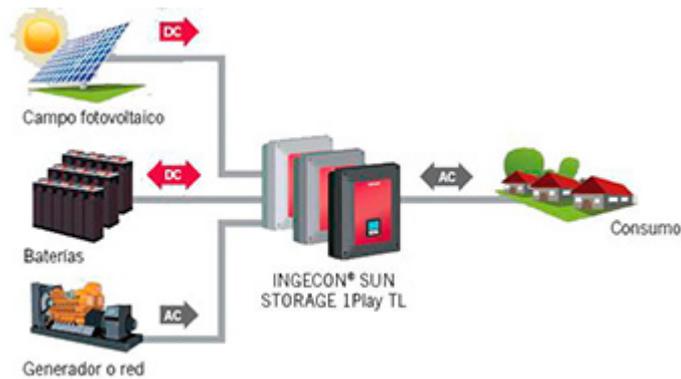


Figura 8: esquema aclaratorio de conexión de un kit con inversor híbrido.

(Fuente: [ref. 5]).

En este sistema, cuando los paneles generen energía y haya demanda en el domicilio, se tomará la energía directamente de ellos. Si dicha producción no basta para satisfacer la demanda, se tomará la energía acumulada en las baterías y si no fuese suficiente, se tomará de la red. Se prevé que cuando los módulos estén generando energía y no haya demanda en el domicilio se carguen las baterías.

El kit analizado en este ejemplo consta de 11 módulos fotovoltaicos de 320 W pico cada uno, que se conectan en serie entre sí para minimizar las pérdidas en los conductores. Cada módulo incluye diodos by-pass de protección. Para abastecer el consumo de la vivienda, la energía proveniente de los módulos o de las baterías, en DC, pasa por un inversor de potencia nominal 3kW que adapta la energía recibida a 230 V en corriente alterna, la adecuada para el domicilio. La potencia nominal de la instalación será la misma que la del inversor, es decir, 3 kW.

4.1.2 [Kit de conexión a red](#)

El segundo kit analizado no cuenta con baterías para almacenar energía, sino que tiene los paneles directamente conectados a una fase de la red mediante el inversor.

Este tipo de instalación, tienen como principal desventaja que cuando existe recurso solar para producir energía pero no hay demanda en el domicilio, no es posible aprovechar esa energía. Es decir, solo se aprovecha la energía generada en caso de que la demanda se produzca de forma simultánea.

La principal ventaja es la ausencia de baterías, con lo que se obtiene una instalación de menor coste y más ecológica, dado el carácter contaminante que tienen las baterías.

El kit elegido para la vivienda analizada consta de 15 módulos de 320 W de potencia pico, las cuales se conectan en serie para minimizar las pérdidas en conductores. Al igual que en el ejemplo anterior, cada módulo tiene diodos by-pass de protección. La energía se produce en DC, de forma que la salida de los módulos se conecta a un inversor de 4,6 kW, que adapta de DC a AC, consiguiendo tener la señal adecuada

para consumo del hogar. La potencia nominal de la instalación será la misma que la del inversor, es decir 4,6 kW.

4.2 PASOS REALIZADOS PARA INSTALAR PLACAS SOLARES PARA AUTOCONSUMO

Una vez diseñada la instalación, como el caso analizado tiene una potencia nominal menor de 10 kW, no será necesario inscribir la instalación de autoconsumo en el registro del Ministerio de Energía, además la conexión a red del kit no tendrá coste ninguno para el sujeto según el RD 900/2015 y RD 24/2013.

Se procederá de la siguiente manera: En primer lugar, es necesario ponerse en contacto con la compañía distribuidora y solicitar el punto de conexión, aportando la siguiente información:

- Potencia nominal del sistema.
- Ubicación de la instalación.
- DNI o CIF del titular del contrato.
- Nombre completo o Razón social del titular del contrato.
- Dirección completa del punto de suministro.
- Número de póliza del contrato de acceso o CUPS (código unificado del punto de suministro).
- Teléfono de contacto.
- Persona de contacto.

Posteriormente, la compañía distribuidora procederá a realizar las verificaciones de protecciones. Una vez verificadas estas y disponiendo de un dispositivo de vertido 0 a red verificado correctamente se dará el visto bueno a la conexión de la instalación. El dispositivo de vertido 0 evita que la instalación vierta energía a la red de conexión y asegura que ésta sólo sea consumida en la vivienda.

Una vez pasadas las verificaciones oportunas, se establecerá el punto de conexión y será a partir de ese momento cuando la instalación destinada a autoconsumo comience a funcionar.

4.3 CONDICIONES Y REQUISITOS TECNICOS A CUMPLIR

Ya sea una instalación de autoconsumo híbrida, o de conexión directa a red, será necesario conectarse a la red eléctrica, por tanto, se tendrá que verificar que la instalación tiene las debidas protecciones tal y como se ha descrito en el apartado 4.2 de esta memoria.

Con esto, será suficiente para poder poner en marcha la instalación a no ser que la compañía distribuidora, requiera alguna información adicional específica.

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

En este caso de estudio, la instalación fotovoltaica permite un ahorro en la factura eléctrica de la vivienda, por lo que la viabilidad de la instalación depende de dicho ahorro. El primer paso para este análisis es conocer cuál es el consumo de la instalación y, dependiendo del tipo de kit, cuál será la porción de dicha energía abastecida por la generación fotovoltaica que conllevará a un ahorro en la factura.

En este caso de estudio se ha tomado una vivienda tipo con una familia de cuatro personas.

4.4.1 Energía consumida en la vivienda

Para comparar la energía consumida de la red con y sin los kits de autoconsumo es necesario calcular el consumo teniendo en cuenta gastos de ACS. Para ello, se ha tomado la facturación del año 2017 de una familia media y se realiza el cálculo del coste total de la familia en electricidad y ACS en dicho año, tomando como referencia un gasto mensual en ACS de 35 € el cual se ha obtenido según los gastos mensuales de una familia media, se obtienen los datos mostrados en la siguiente tabla:

MES	EN ELECTRICIDAD	PRECIO DEL ACS (€)	ELECTRICIDAD MÁS ACS (€)
Dic y Ene	64,69	70	134,69
Feb y Mar	59,76	70	129,76
Abril y Mayo	50,98	70	120,98
Junio y Julio	57,17	70	127,17
Agosto y Sept	75,79	70	145,79
Oct y Nov	47,64	70	117,64
Total:	356,03	420	776,03

Tabla 6: coste anual de una familia media entre electricidad y ACS.

Como se estudia la posibilidad de instalar un termo eléctrico para el ACS de la vivienda es necesario conocer la energía que dicho termo consumirá.

Se ha realizado el cálculo del consumo de un termo eléctrico de 1,5 kW de potencia, y 150 l de capacidad de agua a 60°. Se ha supuesto que el gasto en ACS sea el total del depósito, por lo que cada día se deberán calentar 150 l de agua a 60°.

Para saber las calorías necesarias para calentar esta masa de agua, desde los 10° (temperatura promedio de Zaragoza en 2017) a 60°:

$$E = m(T_1 - T_0) \quad [\text{Ec. 3}]$$

Donde E está en calorías, m en gramos, y las temperaturas en °C.

Aplicando la ecuación anterior se obtiene una energía necesaria de 7,5 Mcal. Como el termo seleccionado es de 1500 W de potencia, o 1,289 Mcal, el tiempo que funcionará al día el termo será de:

$$t = \frac{7,5 \text{ h}}{1,289 \text{ h}} = 5,8 \text{ h} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Multiplicando las 5,8h por los 1,5 kW potencia del termo, se obtiene un consumo diario de 8,72 kWh/día.

Multiplicando por 31 días al mes se obtiene un consumo mensual de 270kWh/mes, valor que se tendrá en cuenta en los cálculos de los consumos de la vivienda una vez se haya instalado el termo eléctrico.

4.4.2 Cálculo de energía generada

Para obtener la energía generada por cada kit, se realiza aplicando el mismo procedimiento mostrado en el apartado 3.4.2 obteniendo el valor de producción por módulo fotovoltaico a través de la [Ec.1] y la [Ec.2]. Para obtener el valor de producción mensual de cada kit, se modifica la [Ec.3] sustituyendo para cada kit, por su número de módulos.

Con esto, se obtiene la producción de energía que se expone en las siguientes tablas. En la Tabla 7 para el kit inversor híbrido y en la Tabla 8 para el kit de conexión a red. Los valores mostrados son valores de energía bruta, es decir, sin tener en cuenta las pérdidas. Los cálculos realizados para obtener estos resultados pueden observarse en el ANEXO 1: cálculos energéticos.

MES	RADIACIÓN EN ÁNGULO ÓPTIMO (Wh/m ² /día)	POR PANEL (kWh/día)	11 PANELES (kWh/día)	MENSUAL (kWh)
Enero	3400	1,0880	11,97	371,01
Febrero	4730	1,5136	16,65	466,19
Marzo	5940	1,9008	20,91	648,17
Abril	5950	1,9040	20,94	628,32
Mayo	6240	1,9968	21,96	680,91
Junio	6670	2,1344	23,48	704,35
Julio	7170	2,2944	25,24	782,39
Agosto	6930	2,2176	24,39	756,20
Septiembre	6280	2,0096	22,11	663,17
Octubre	5190	1,6608	18,27	566,33
Noviembre	3880	1,2416	13,66	409,73
Diciembre	3230	1,0336	11,37	352,46
Total (kWh)				7029,23

Tabla 7: producción mensual sin pérdidas del kit con inversor híbrido.

MES	POR PANEL (kWh/día)	15 PANELES (kWh/día)	MENSUAL (kWh)
Enero	1,0880	16,32	505,92
Febrero	1,5136	22,70	635,71
Marzo	1,9008	28,51	883,87
Abril	1,9040	28,56	856,80
Mayo	1,9968	29,95	928,51
Junio	2,1344	32,02	30,00
Julio	2,2944	34,42	1066,90
Agosto	2,2176	33,26	1031,18
Septiembre	2,0096	30,14	30,00
Octubre	1,6608	24,91	772,27
Noviembre	1,2416	18,62	30,00
Diciembre	1,0336	15,50	480,62
		Total (kWh)	7251,79

Tabla 8: producción mensual sin pérdidas del kit de conexión a red.

El cálculo de la energía neta debe considerar las pérdidas, para lo que se debe tener en cuenta que las baterías aprovechan alrededor del 50% de la energía que son capaces de almacenar, debido a las pérdidas de carga que pueden tener por temperaturas altas y en periodos de inactividad. El inversor tiene un rendimiento del 95%, mientras que los módulos fotovoltaicos tal y como se desarrolla en el siguiente párrafo tendrán unas pérdidas máximas del 10%. Suponiendo que se tome la mitad del tiempo la energía de la producida con los módulos, mientras que la otra mitad del tiempo se toma de las baterías, obtenemos que el aprovechamiento de la energía será del alrededor del 70%.

Sin embargo, el kit de conexión a red tendrá unas pérdidas del 15% por pérdidas entre módulos e inversor. Se tienen en cuenta unas pérdidas por suciedad cercanas al 3%, un 3% más en pérdidas en conductores, y se suma un 4% extra, por hacer más desfavorable la instalación. Sumando un 5% por el rendimiento del inversor, en total se tendrá un aprovechamiento del 85% de la energía.

Con estos dos datos, se calcula la producción de cada kit con pérdidas en la siguiente tabla:

MES	PRODUCCIÓN CON PÉRD. KIT CONEXIÓN A RED (kWh)	PRODUCCIÓN CON PÉRD. KIT CON INVERSOR HÍBRIDO (kWh)
Enero	430,03	259,71
Febrero	540,36	326,33
Marzo	751,29	453,72
Abril	728,28	439,82
Mayo	789,24	476,64
Junio	25,5	493,05
Julio	906,86	547,67
Agosto	876,51	529,34
Septiembre	25,5	464,22
Octubre	656,43	396,43
Noviembre	25,5	286,81
Diciembre	408,53	246,72
Total (kWh)	6164,02	4920,46

Tabla 9: producción de los dos kits con pérdidas.

4.4.3 Cálculo del ahorro obtenido

Como se ha comentado anteriormente, el ahorro dependerá de la porción de energía consumida por la vivienda que será proporcionada por la instalación fotovoltaica y dejará de ser suministrada desde la red eléctrica. Esa porción de energía dependerá de las características del kit, de si tiene almacenamiento o no y de la simultaneidad de la generación y del consumo en la vivienda.

Ahorro mediante el Kit con inversor híbrido

Como los datos de consumo que se disponen se han obtenido a partir de la facturación bimensual, después de realizar el cálculo de la energía producida en cada mes teniendo en cuenta las pérdidas, mostrado en la Tabla 9, se suman los meses de facturación conjunta.

Como ya se ha comentado, es necesario conocer cuando se realiza el consumo para calcular el ahorro. La facturación se realiza en dos periodos, llamados periodo 1 o de punta y periodo 3 o de valle, que suele coincidir con las horas nocturnas en las que no hay generación fotovoltaica. Se puede ver como la energía consumida en el periodo 1 es más cara que la consumida en el periodo 3. En la facturación más desfavorable (abril y mayo) el periodo 1 representa un 71% del consumo total. Se toma como valor, un 75% de consumo en el periodo 1, y un 25% de consumo en el periodo 3, para obtener un caso más desfavorable. Restando la energía generada de

la consumida en cada periodo de facturación de cada mes, se obtiene la energía suministrada por la red con este kit.

Finalmente, multiplicando el consumo por el precio en cada periodo y sumando ambos se obtiene el nuevo coste tras la instalación de un kit con inversor híbrido, tal y como expone la siguiente tabla:

MES	PERIODO 1	PRECIO (€)	PERIODO 3	PRECIO (€)	Total (€)
Dic y Ene	430,18	0,150746	143,39	0,070385	74,94
Feb y Mar	202,46	0,150746	67,49	0,070385	35,27
Abril y Mayo	17,65	0,150746	5,88	0,070385	3,08
Junio y Julio	0,00	0,150746	0,00	0,070385	0,00
Agosto y Sept	154,83	0,150746	51,61	0,070385	26,97
Oct y Nov	207,57	0,150746	69,19	0,070385	36,16
Total (€)					176,42

Tabla 10: coste anual de ACS y electricidad tras instalación de un kit con inversor híbrido.

kit de conexión a red

Se calcula la energía producida en cada mes teniendo en cuenta las pérdidas, tal y como se ha obtenido en la Tabla 9 y se suman los meses de facturación conjunta bimensualmente como se ha hecho en el caso anterior.

Tal y como se ha dicho previamente se tienen dos periodos de facturación, uno de punta o Periodo 1 que abarca desde las 10 am hasta las 10 pm y otro de valle o Periodo 3 que irá desde las 10pm hasta las 10 am. Puede observarse que el Periodo 1 coincide aproximadamente con las horas de luz solar, es decir, con las horas en las que habrá producción. Debido a ello se ha considerado que el consumo en las horas del periodo 3 se abastece mediante compra de energía de la red y el kit de conexión a red abastecerá al domicilio sólo durante el periodo 1.

Se ha supuesto que el termo calienta el agua directamente con la energía de los paneles solares durante las horas de funcionamiento.

Restando directamente el consumo del periodo 1 menos la producción de los módulos fotovoltaicos, se obtienen valores muy cercanos a 0 o incluso negativos, pero hay que tener en cuenta que durante el periodo 1, que comprende desde las 10 am hasta las 10 pm, no siempre habrá producción fotovoltaica ya que, en invierno, anochece antes de las 10 pm. Por ello, se ha tenido en cuenta un consumo mínimo que varía a lo largo del año, según se muestra en el ANEXO 1: cálculos energéticos:

MES	PERIODO 1	PRECIO (€)	PERIODO 3	PRECIO (€)	Total (€)
Dic y Ene	146	0,150746	208	0,070385	36,65
Feb y Mar	128	0,150746	213	0,070385	34,29
Abril y Mayo	91	0,150746	116	0,070385	21,88
Junio y Julio	73	0,150746	189	0,070385	24,31
Agosto y Sept	91	0,150746	295	0,070385	34,48
Oct y Nov	128	0,150746	195	0,070385	33,02
Total (€)					184,63

Tabla 11: consumo anual de ACS y electricidad tras instalación de un kit de conexión a red.

En resumen, el ahorro anual con cada kit durante 2017 será:

AHORRO	KIT CONEX. A RED	KIT INV. HIBRIDO
TOTAL AHORRO ANUAL (€)	591,40	599,61

Tabla 12: ahorro anual que conlleva cada kit durante 2017.

A primera vista, se podría suponer que el kit con almacenamiento proporcionaría un mayor ahorro que el de conexión a red, pero en esta comparación hay que tener en cuenta que la potencia del kit de conexión a red es mayor. Además, se ha supuesto que el termo eléctrico consume durante las horas de producción solar.

4.4.4 Cálculo de VAN y TIR

En los cálculos mostrados en este apartado se tiene en cuenta una pérdida de producción por deterioro en los paneles del 1% al igual que en los módulos destinados a venta de energía expuesto en el punto 3.4.4.

Al contrario que en el punto citado anteriormente, en estos dos kits, un 1% de deterioro en los paneles no implica un 1% de pérdida de ahorro anual, por lo que se ha repetido el procedimiento de cálculo de producción para cada año con unas pérdidas año tras año de un 1% más.

En el ANEXO 2: cálculos económicos sección 2.2.2 (cálculo de VAN y TIR), se expone el cálculo del ahorro que supone el kit de conexión a red cada año mientras que en la sección 2.2.3 (cálculo de VAN y TIR) del mismo ANEXO, se muestra el ahorro que supone el kit de inversor híbrido de cada año.

Se resumen los resultados del ahorro de cada año en la siguiente tabla, incluyendo la inversión inicial de cada kit, y suponiendo una tasa de rentabilidad del 3%, ya que este es un valor típico de rentabilidad en pequeñas inversiones.

VALOR	AHORRO KIT CONEXIÓN A RED	AHORRO KIT INV. HÍBRIDO
TASA (TANTO POR 1)	0,03	0,03
INV. INICIAL	-5587,85	-10160,33
AÑO 1	591,40	599,61
AÑO 2	591,40	594,54
AÑO 3	591,40	589,46
AÑO 4	591,40	583,03
AÑO 5	591,40	576,60
AÑO 6	591,40	570,17
AÑO 7	591,40	563,74
AÑO 8	590,98	557,31
AÑO 9	589,95	550,88
AÑO 10	588,92	544,45
AÑO 11	587,56	538,02
AÑO 12	585,17	531,59
AÑO 13	582,78	525,16
AÑO 14	580,39	518,73
AÑO 15	577,27	512,30
AÑO 16	573,62	505,87
AÑO 17	569,97	499,44
AÑO 18	566,32	493,01
AÑO 19	562,66	486,58
AÑO 20	558,59	480,15

Tabla 13: cálculo del ahorro de los 20 años de cada uno de los kits estudiados.

Finalmente se realiza el cálculo del VAN y TIR de los dos kits y se tiene:

ESTUDIO DE VAN Y TIR	KIT CONEX A RED	KIT INV. HIBRIDO
VAN	3104,73	-2018,57
TIR	8,41%	0,63%

Tabla 14: VAN y TIR de los dos kits estudiados de autoconsumo.

Como puede observarse el valor del VAN para el kit de conexión a red es altamente positivo teniendo en cuenta que se quiere sacar una rentabilidad del 3%, por lo que este kit crea valor y sería aconsejable realizar la inversión. Sin embargo, el valor del VAN para el kit con inversor híbrido es negativo lo que quiere decir que no tiene una rentabilidad superior al 3%.

La tasa interna de rentabilidad es en ambos casos positiva, en el kit de conexión a red cercana al 9%, mientras que, en el kit con inversor híbrido, se tiene una rentabilidad del 0,63%.

Como se ve en la siguiente figura, y tal y como indican los datos obtenidos de la Tabla 13, se obtendrá un mayor beneficio a 20 años del kit de conexión a red, el cual nos devuelve la inversión realizada en 10 años, mientras que la opción de un kit con inversor híbrido nos devuelve lo invertido a los 20 años.

En la siguiente figura se puede ver cómo tanto el kit de conexión a red como el kit con inversor híbrido devuelven la inversión de una forma lineal año a año. También se aprecia como el de conexión a red tiene una mayor rentabilidad que el híbrido.

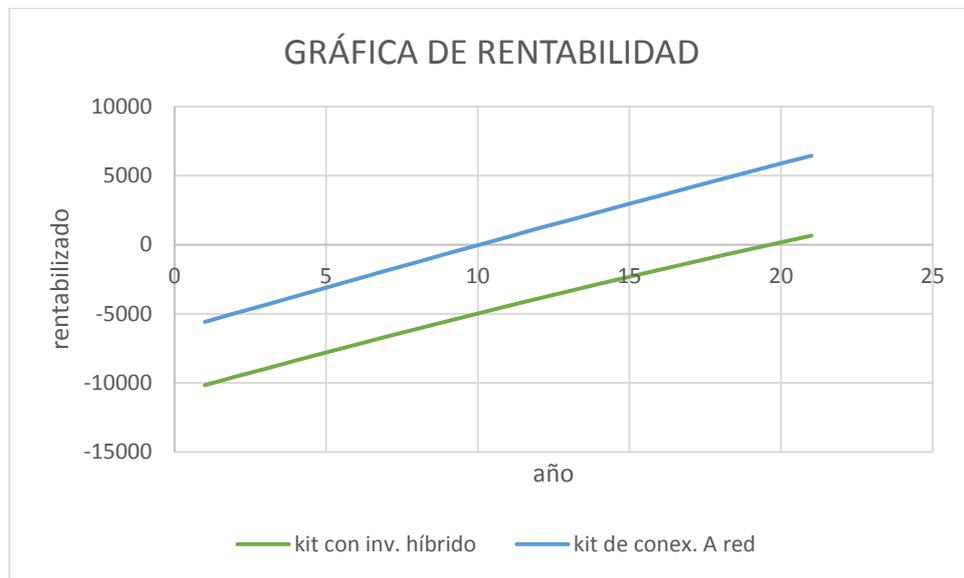


Figura 9: gráfico de rentabilidad de los dos kits estudiados.

Además de los resultados obtenidos en estudio, debe tenerse en cuenta que, cada vez más se favorecerá el autoconsumo por medio de este tipo de kits en Europa y que en los próximos años, según lo que establece la Unión Europea, es probable que

se apruebe una ley que regule el uso del balance neto, lo que significaría un tremendo beneficio para los kits de conexión a red, ya que podrían verter la energía a red siempre que no se demandara energía en el domicilio. Con esto, se aumentaría la rentabilidad de este tipo de kits aún más de la que se tiene actualmente.

5. CONCLUSIONES

En este TFG se han analizado las oportunidades de la fotovoltaica mediante dos casos de estudio: un parque diseñado para la venta de energía y una instalación en una vivienda unifamiliar destinada al autoconsumo. En este segundo caso, se han analizado dos posibilidades, que la instalación disponga de almacenamiento o no. Para cada uno de ellos, se ha realizado el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica y el cálculo energético suponiendo la misma ubicación para los dos casos. Finalmente se ha obtenido su respectivo valor de rentabilidad (VAN y TIR).

En los resultados obtenidos para el caso del parque fotovoltaico para venta de energía, el valor de rentabilidad es mayor de lo esperado a pesar de haber considerado criterios muy conservadores en las previsiones de energía generada. Tal y como se expone al final del punto 3.4.4, a pesar de obtener unos valores de rentabilidad considerablemente altos, hay que tener en cuenta que la incertidumbre respecto al futuro precio de la electricidad en el mercado mayorista, puede suponer un punto negativo a la hora de realizar una gran inversión como la que supone el parque generador propuesto. También nombrar que, según los objetivos europeos, las energías renovables en los próximos 12 años tendrán un gran crecimiento y, posiblemente, en un futuro la rentabilidad de estas instalaciones sea mayor que en la actualidad.

Por lo que respecta al caso de autoconsumo analizado, de las dos posibilidades estudiadas, la rentabilidad del kit de conexión a red sin almacenamiento es mucho mayor que la del inversor híbrido con baterías ya que, aunque las dos instalaciones presentan un ahorro anual parecido, la inversión inicial del kit con almacenamiento de energía es mucho mayor que la del kit de conexión a red. Por ello, para el caso analizado de una vivienda unifamiliar, la opción más rentable es la de módulos fotovoltaicos conectados a red sin almacenamiento. Además, decir que se esperan escenarios futuros que puedan condicionar positivamente las instalaciones de conexión a red, siendo que la Unión Europea tiene entre sus planes mejorar las condiciones de autoconsumo, lo cual favorece aún más este tipo de instalaciones, que hará que en un futuro, sean aún más rentables que en la actualidad.

Se concluye diciendo que, aunque habría que estudiar cada caso individualmente, en las instalaciones analizadas la rentabilidad de la energía solar fotovoltaica es un hecho, pero podría ser incluso más atractiva en un futuro próximo.

6. REFERENCIAS

[ref. 1]

Ignacio Mártel, "Evolución y perspectivas para la energía solar fotovoltaica", disponible en:

<http://blogs.publico.es/econonuestra/2016/04/01/evolucion-y-perspectivas-para-la-energia-solar-fotovoltaica/>

[ref. 2]

PVGIS, "base de datos de radiación solar", disponible en:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

[ref. 3]

OMIE, "base de datos de precios mensuales de la electricidad en 2017", disponible en:

<http://www.omie.es/files/flash/ResultadosMercado.swf>

[ref. 4]

Autosolar, "kits para autoconsumo de una vivienda aislada", disponible en:

<https://autosolar.es/kit-solar-aislada/kit-solar-aislada-3000w-24v-8100whdia>

[ref. 5]

Autosolar, "kits para autoconsumo con un inversor híbrido que conmuta con la red", disponible en:

<https://autosolar.es/kit-solar-aislada/kit-solar-autoconsumo-baterias-3000w-72v-17600whdia>

[ref. 6]

Autosolar, "kits para autoconsumo de conexión a red", disponible en:

<https://autosolar.es/kits-solares-conexion-red/kit-conexion-red-monofasico-4600w-24000whdia-con-vertido-0>

[ref. 7]

Webmatel, "precio de cables", disponible en:

<http://webmatel.com>

[ref. 8]

Solarmat, "precio de estructuras de paneles solares", disponible en:

<http://solarmat.es/es/pedido-rapido>

[ref. 9]

Endesa Distribución, "Tramitación de solicitudes de punto de conexión", disponible en:

<http://www.endesadistribucion.es/es-es/oficinaOnline/puntos-suministro/Paginas/quiatramitacion.aspx>

[ref. 10]

instalaciones privadas conectadas a la red de distribución. Generadores en baja tensión.
Fecha: 7/2017. Publicado por: Endesa distribución.

[ref. 11]

Javier Pastor, "El impuesto al sol caducará en 2021:se abren las puertas del autoconsumo en España y Europa", disponible en:

<https://www.xataka.com/energia/impuesto-al-sol-caducara-2021-se-abren-puertas-autoabastecimiento-espana-europa>

[ref. 12]

Wikipedia, " El autoconsumo fotovoltaico", disponible en:

https://es.wikipedia.org/wiki/Autoconsumo_fotovoltaico

[ref. 13]

Reglamentos y Reales Decretos consultados:

- RD 1955/2000, de 1 de diciembre.
- RD 24/2013, de 26 de diciembre.
- RD 900/2015, de 9 de octubre.
- REBT de 2002 y sus ITCs complementarias.



ANEXOS



ÍNDICE

ANEXO A1.	CÁLCULOS ENERGÉTICOS	33
A1.1.	CÁLCULO DE PRODUCCIÓN EN EL PARQUE GENERADOR DE 90 kW	33
A1.2.	CÁLCULO ENERGÉTICO EN LA VIVIENDA CON AUTOCONSUMO	34
A1.2.1.	Consumo energético de la vivienda en energía eléctrica y agua caliente sanitaria	34
A1.2.2.	Energía generada mediante el kit híbrido seleccionado	36
A1.2.3.	Energía generada mediante el Kit de conexión a red seleccionado	37
ANEXO A2.	CÁLCULOS ECONÓMICOS	40
A2.1.	CÁLCULO ECONÓMICO EN EL CASO DEL PARQUE GENERADOR DE 90 kW	40
A2.1.1.	Beneficio anual neto	40
A2.1.2.	Estimación de la inversión inicial	40
A2.1.3.	Cálculo de VAN y TIR	43
A2.2.	CÁLCULOS ECONÓMICOS C EN EL CASO DE LA VIVIENDA CON AUTOCONSUMO	44
A2.2.1.	Precio en euros del consumo energético en electricidad y ACS	45
A2.2.2.	Estimación de la rentabilidad del Kit híbrido	45
A2.2.3.	Estimación de la rentabilidad del Kit de conexión a red	52
ANEXO A3.	Bases de datos empleadas en los estudios	59
A3.1.	BASE DE DATOS DE RADIACIÓN SOLAR EN EL EMPLAZAMIENTO	59
A3.2.	BASE DE DATOS DE PRECIO DE LA ELECTRICIDAD	60
A3.3.	PRECIOS DE COMPONENTES Y KITS SOLARES	60
A3.3.1.	Paneles fotovoltaicos	60
A3.3.2.	Cableado	61
A3.3.3.	Estructuras de soporte para los módulos solares	61
A3.3.4.	Inversores	61
ANEXO A4.	Catálogos de los componentes	62
A4.1.	Catálogo de paneles solares AS-6P policristalinos	62
A4.2.	Catálogo de inversores	65

ANEXO A1. CÁLCULOS ENERGÉTICOS

En el presente anexo, se muestra el procedimiento seguido para el cálculo de la producción y consumo de energía para los casos de estudio descritos en la memoria de este TFG.

A1.1. CÁLCULO DE PRODUCCIÓN EN EL PARQUE GENERADOR DE 90 kW

Para calcular la producción energética total que tendrá el huerto solar se parte de la base de datos PVGIS expuesta en el ANEXO A3. En las tablas mostradas aparece de la radiación en la inclinación óptima del emplazamiento por mes, en este caso en la zona de Montecanal (Zaragoza). Con dicha radiación y según la siguiente fórmula:

$$E_{gen} = P_{stc} * \frac{H_{opt}}{G_{stc}} \quad [Ec. A 1]$$

Donde:

E_{gen}= Energía bruta generada por cada módulo fotovoltaico (kWh/día)

P_{stc}= Potencia pico de cada módulo en condiciones STC solar (kW)

H_{opt}= Irradiación en el plano inclinado óptimo (Wh/m²/día)

G_{stc}= Irradiancia en condiciones STC, que es de 1000 W/m²

Sabiendo que el huerto solar consta de un total de 5 inversores con 57 placas conectadas cada uno, la producción total por mes y día será la mostrada en la siguiente tabla:

MES	IRRADIACIÓN EN ÁNGULO ÓPTIMO (Wh/m ² /día)	POR PANEL (kWh/día)	PRODUCCIÓN POR DÍA DE 57x5 PANELES (kWh/día)
Enero	3400	1,088	310,08
Febrero	4730	1,514	431,38
Marzo	5940	1,901	541,73
Abril	5950	1,904	542,64
Mayo	6240	1,997	569,09
Junio	6670	2,134	608,30
Julio	7170	2,294	653,90
Agosto	6930	2,218	632,02
Septiembre	6280	2,010	572,74
Octubre	5190	1,661	473,33
Noviembre	3880	1,242	353,86
Diciembre	3230	1,034	294,58

Tabla A 1: Producción del huerto solar por mes y día en Kwh.

Una vez calculado el valor por mes y día, se multiplica por el número total de días de cada mes y se tiene la producción mensual del huerto solar en caso de no considerar las pérdidas que se producen en la propia instalación. Para tener en cuenta las pérdidas se ha tenido en cuenta los siguientes conceptos:

- Rendimientos de los inversores: en torno al 95%, es decir un 5% de pérdidas
- Pérdidas en los cables: Se ha considerado un máximo del 3%
- Pérdidas por suciedad en los módulos: en torno a un 3%

Según lo anterior, las pérdidas del sistema estarán en torno al 11 %, pero para tomar un criterio más conservador, los cálculos se han realizado tomando unas pérdidas del 15%. De esta forma se tienen los siguientes resultados:

MES	PRODUCCION SIN PÉRDIDAS (kWh)	PRODUCCIÓN CON PÉRDIDAS (kWh)
Enero	9612,48	8170,61
Febrero	12078,53	10266,75
Marzo	16793,57	14274,53
Abril	16279,20	13837,32
Mayo	17641,73	14995,47
Junio	18249,12	15511,75
Julio	20271,02	17230,37
Agosto	19592,50	16653,62
Septiembre	17182,08	14604,77
Octubre	14673,17	12472,19
Noviembre	10615,68	9023,33
Diciembre	9131,86	7762,08

Tabla A 2: producción del huerto solar mensual con pérdidas.

A1.2. CÁLCULO ENERGÉTICO EN LA VIVIENDA CON AUTOCONSUMO

En este apartado se calcula tanto el consumo del domicilio como la producción de los diferentes kits solares estudiados.

A1.2.1. Consumo energético de la vivienda en energía eléctrica y agua caliente sanitaria

Este cálculo se ha realizado tomando como punto de partida los datos de las facturas de energía eléctrica de una familia de cuatro personas en la zona en la que se ubica la instalación analizada. Estas facturas se emiten de forma bimensual, por lo que en la tabla aparecen agrupados los meses del año de dos en dos. También se observa que los consumos están agrupados en dos periodos de facturación, denominados Periodo 1 y Periodo 3. Los datos de la energía consumida se resumen en la siguiente tabla:

MES	PERIODO 1 (kWh)	PRECIO (€)	PERIODO 3 (kWh)	PRECIO (€)
Dic y Ene	332	0,150746	208	0,070385
Feb y Mar	297	0,150746	213	0,070385
Abril y Mayo	284	0,150746	116	0,070385
Junio y Julio	291	0,150746	189	0,070385
Agosto y Sept	365	0,150746	295	0,070385
Oct y Nov	225	0,150746	195	0,070385

Tabla A 3: Energía consumida y precio de cada periodo obtenido a partir de las facturas.

El Periodo 1, se define como el de hora de punta que va desde las 12:00 hasta las 22:00 en invierno y de las 13:00 hasta las 23:00 en verano. Mientras que el Periodo 3 o de valle, se da durante las 22:00 hasta las 12:00 del día siguiente en invierno y de las 23:00 a las 13:00 en verano.

En este TFG, en el consumo considerado se ha incluido el necesario para un termo eléctrico que sustituya el actual termo de gas, por lo que es necesario calcular el consumo adicional debido a dicho termo. Para realizar este cálculo, se ha considerado que el consumo medio de ACS a 60° es de 30 litros por día, por lo que , para una familia de cuatro personas se tendrá un consumo de 120 l. Se ha seleccionado un termo de 150 l de capacidad, y para el cálculo del consumo se ha supuesto que cada día se consume la capacidad total del termo. Para saber las calorías necesarias a aportar para calentar 150 l de agua, de 10° (temperatura media aproximada en Zaragoza) a 60°, se usa:

$$E = m(T_1 - T_0) \quad [\text{Ec. A 2}]$$

Donde E está en calorías, m en gramos y las temperaturas en °C.

Teniendo también la potencia de la resistencia que calienta el agua (1500W), pasándola a calorías se tiene el aporte por hora de calorías. Dividiendo las necesarias entre las aportadas por hora se obtiene las horas diarias que tendrá que estar funcionando el termo.

Se multiplican las horas por la potencia del termo y por los días de un mes (se toman 31 para el caso general) y se obtienen los kWh consumidos del termo al mes, tal y como se expone en la siguiente tabla:

Variable	Valor
Potencia termo (kW)	1,5
Temperatura agua (°C)	60
Capacidad (litros)	150
Cantidad de agua (gramos)	150000
Calorías necesarias	7500000
Calorías aportadas por h	1289766,86
Tiempo (h)	5,82
Consumo termo diario (kWh)	8,72
Consumo termo mensual (kWh)	270,40

Tabla A 4: consumo del termo por mes.

A1.2.2. Energía generada mediante el kit híbrido seleccionado

El kit híbrido seleccionado incluye baterías y tiene un total de 11 módulos solares, con una potencia nominal de 3 kW. Los módulos solares son las encargadas de producir la energía que o bien se consume directamente en el domicilio en el caso de tener demanda o se acumula en las baterías.

Teniendo la misma producción por módulo indicado en el apartado A1.1 del presente anexo, y sustituyendo en número de paneles solares por los 11 de este caso y por los días que tendrá cada mes, se obtiene la producción por mes del kit sin pérdidas, como se ve en la siguiente tabla:

MES	RADIACIÓN (Wh/m ² /día)	POR PANEL (kWh/día)	11 PANELES (kWh/día)	MENSUAL (kWh)
Enero	3400	1,088	11,97	371,01
Febrero	4730	1,514	16,65	466,19
Marzo	5940	1,901	20,91	648,17
Abril	5950	1,904	20,94	628,32
Mayo	6240	1,997	21,96	680,91
Junio	6670	2,134	23,48	704,35
Julio	7170	2,294	25,24	782,39
Agosto	6930	2,218	24,39	756,20
Septiembre	6280	2,010	22,11	663,17
Octubre	5190	1,661	18,27	566,33
Noviembre	3880	1,242	13,66	409,73
Diciembre	3230	1,034	11,37	352,46
Total (kWh)				7029,23

Tabla A 5: producción kit híbrido sin pérdidas.

Para el cálculo de las pérdidas energéticas en este kit serán en torno al 15 % en caso de que la energía generada por las placas se consuma directamente (sin almacenarse en las baterías) según lo mostrado en el punto A1.1.1 del presente anexo. Sin embargo, en las baterías se puede ver que durante largos periodos de inactividad, tienen grandes pérdidas de descarga, además de que su rendimiento suele ser bajo. Se tiene en cuenta también que, con condiciones de temperaturas diferentes a las ideales (25 °C), la capacidad de estas disminuye. Por todos estos puntos, se tomará un aprovechamiento de energía en las baterías del 50%.

En definitiva, las pérdidas de este kit serán de un 15% en las placas y un 50% en las baterías. Se supone un uso equitativo entre placas y baterías, por lo que el rendimiento medio del kit será de:

$$\frac{50\%+15\%}{2} \approx 30\% \quad [\text{Ec. A 3}]$$

Teniendo la producción del kit con pérdidas, se distribuye la producción ya de dos en dos meses tal y como se factura la luz. Se tiene en cuenta el consumo del termo eléctrico, que será de 540 kWh en cada facturación, y realizando la siguiente cuenta:

$$\text{Consumo} = \text{Termo} + \text{Consumo habitual} - \text{Generación con pérdidas} \quad [\text{Ec. A 4}]$$

Se obtiene el nuevo consumo de la red tras la instalación del kit híbrido tal y como se muestra en la tabla 6:

MES	PRODUCCIÓN FV CON PÉRDIDAS (kWh)	CONSUMO ACTUAL (kWh)	CONSUMO DEL TERMO (kWh)	CONSUMO FINAL DESDE LA RED (kWh)
Dic y Ene	506,43	540	540	573,57
Feb y Mar	780,05	510	540	269,95
Abril y Mayo	916,46	400	540	23,54
Junio y Julio	1040,72	480	540	0,00
Agosto y Sept	993,56	660	540	206,44
Oct y Nov	683,24	420	540	276,76

Tabla A 6: nuevo consumo de la red tras instalación de un kit híbrido y el termo para ACS.

A1.2.3. Energía generada mediante el Kit de conexión a red seleccionado

Realizando el mismo procedimiento que en el kit anterior, pero tomando un total de 15 módulos, que son las que constan en este kit de 4,5 kW de potencia nominal, se obtiene la producción sin pérdidas del kit:

MES	ENERGÍA POR PANEL (kWh/día)	15 PANELES (kWh/día)	MENSUAL (kWh)
Enero	1,088	16,32	505,92
Febrero	1,513	22,70	635,71
Marzo	1,900	28,51	883,87
Abril	1,904	28,5	856,80
Mayo	1,996	29,95	928,51
Junio	2,134	32,01	30,00
Julio	2,294	34,41	1066,89
Agosto	2,217	33,26	1031,18
Septiembre	2,009	30,14	30,00
Octubre	1,660	24,91	772,27
Noviembre	1,241	18,62	30,00
Diciembre	1,033	15,50	480,62

Tabla A 7: producción de un kit de conexión a red sin pérdidas.

Para el cálculo de las pérdidas, se parte de la idea en la que las placas solares tienen un aprovechamiento energético del 85%. Siendo las pérdidas por suciedad cercanas al 3%, debido al rendimiento del inversor se añaden un 5%, un 3% en pérdidas en conductores, y se suma además un 4% extra, por hacer más desfavorable la instalación. Finalmente se tienen un 15% de pérdidas.

Una vez que se tiene la producción del kit con pérdidas, se aprecia como las horas en las que las placas solares están produciendo energía (desde que sale el sol hasta que se esconde), coincide aproximadamente con las horas del periodo 1 o de punta (de 12 am hasta las 10 pm). Tener en cuenta que, a partir de las 9 pm la radiación solar en verano será ya escasa, por lo que tendremos consumo de la red, mientras que, en invierno, a las 7 pm muchos días la radiación que llegue será ya nula.

Por ello, se tiene en cuenta que en el periodo 1, aunque la resta entre la producción con placas solares y el consumo de 0, nunca será 0 siendo que tendremos algo de consumo.

Para calcular el consumo de 1h al día, se coge el mayor de los consumos del Periodo 1 que corresponde al de agosto y septiembre con un total de 365 kWh.

Este se divide entre las 10h en las que se distribuye dicho periodo (de 12:00 hasta las 22:00 en invierno o de las 13:00 a las 23:00 en verano).

Se tiene pues que:

$$\frac{365}{10} = 36,5 \text{ kWh} \quad [\text{Ec. A 5}]$$

Por ello, se supone que en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero durante 4 horas del periodo 1 (18:00 a 22:00) habrá consumo, durante marzo y

octubre se consideran un total de 3 horas, mientras que en abril, mayo, agosto y septiembre se han considerado 2 horas y media y durante junio y julio 2 horas de consumo.

En esta tabla se ve cómo se mantiene constante el consumo en el periodo 3, aun siendo que las horas finales de este periodo (8 am a 12 am) el kit producirá energía.

MES	CONSUMO PERIODO 1 (kWh)	PRECIO (€)	CONSUMO PERIODO 3 (kWh)	PRECIO (€)
Dic y Ene	146	0,150746	208	0,070385
Feb y Mar	128	0,150746	213	0,070385
Abril y Mayo	91	0,150746	116	0,070385
Junio y Julio	73	0,150746	189	0,070385
Agosto y Sept	91	0,150746	295	0,070385
Oct y Nov	128	0,150746	195	0,070385

Tabla A 8: consumo de cada periodo con un kit de conexión a red.

ANEXO A2. CÁLCULOS ECONÓMICOS

Teniendo los datos del ANEXO A1, se calculan los costes que tendrá cada una de las instalaciones analizadas y los beneficios que dará cada una.

A2.1. CÁLCULO ECONÓMICO EN EL CASO DEL PARQUE GENERADOR DE 90 KW

Este cálculo se ha dividido en 3 apartados, en los que se calcula el beneficio esperado, la inversión inicial y el cálculo de los parámetros VAN y TIR.

A2.1.1. Beneficio anual neto

El beneficio se calcula a partir de los datos de producción con pérdidas obtenidos en el punto A1.1, multiplicando por el precio medio del mercado mayorista de la electricidad durante el año 2017 de cada mes que se exponen en las bases de datos del ANEXO A3.

Con estos dos datos, se obtiene el beneficio por mes de la venta de electricidad, al que habrá que restar un total de 0,70 € por MWh que es el coste asociado al agente representante en el mercado de electricidad, según se expone en el punto 3.4.1 de la memoria de este TFG. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

MES	PRODUCCIÓN CON PÉRDIDAS (kWh)	PRECIO MEDIO DE CADA MES (€/kWh)	BENEFICIO BRUTO (€)	BENEFICIO NETO (€)
Enero	8170,6	0,08162	666,89	661,17
Febrero	10266,7	0,06222	628,53	621,34
Marzo	14274,5	0,05165	737,28	727,29
Abril	13837,3	0,05213	721,34	711,65
Mayo	14995,5	0,05425	813,50	803,01
Junio	15511,8	0,05693	883,08	872,23
Julio	17230,4	0,05594	963,87	951,81
Agosto	16653,6	0,05466	910,29	898,63
Septiembre	14604,8	0,05629	822,10	811,88
Octubre	12472,2	0,06486	808,95	800,22
Noviembre	9023,3	0,06682	602,94	596,62
Diciembre	7762,1	0,06751	524,02	518,58
Total (€)			9082,78	8974,42

Tabla A 9: beneficio bruto y neto obtenido de la venta de energía del huerto solar

A2.1.2. Estimación de la inversión inicial

Para poder realizar un cálculo de rentabilidad mediante el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), es necesario conocer la inversión inicial realizada.

Se toma los precios necesarios de cada este cálculo del ANEXO A3.

Se ha tenido en cuenta el precio de cableado, placas solares, inversores, estructuras de placas, costes adicionales (pudiera ser de protecciones a instalar) y costes de montaje de la instalación.

Cálculo de longitudes de cada cable y su coste

Para el cálculo del cableado, ha tomado el esquema mostrado en la siguiente figura. Se ha seleccionado cable de 6 mm² para la parte de continua desde los paneles hasta la entrada del inversor. A la salida de cada inversor se instalará una sección de cable de 25 mm². Una vez que se unen las 5 salidas de los inversores para realizar la conexión a baja tensión, se tomará una sección de cable de 120 mm².

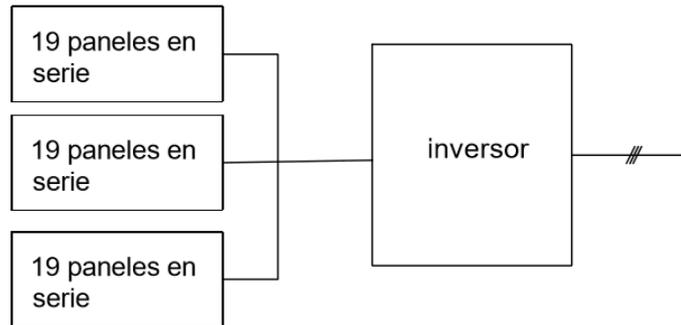


Figura A 1: valor de inversión inicial a realizar.

A continuación se muestran los cálculos para cada una de las secciones.

Sección de 6 mm²

Se ha supuesto que entre placas contiguas se necesita un total de 1,5 metros de cable. Siendo que se conectan en serie 19 módulos en dos filas, una de 10 y otra fila de 9 se obtiene un total de 17 tramos de 1,5 metros. Para conectar la fila superior con la inferior será necesario como mínimo un tramo de 8 m de cable de sección 6 mm². La unión del positivo y el negativo de las 19 placas conectadas en serie hasta el punto de unión de los 3 grupos de 19 placas, será como máximo de una longitud de 10 metros cada cable, es decir un total de 20 metros de cable (positivo de 10 metros y negativo de otros 10).

Según esos datos, se necesitará una longitud total de cable de sección 6 mm²:

$$\text{metros} = (17 \times 1,5) + 20 + 8 = 53,5 \text{ m [Ec. A 6]}$$

Para realizar los cálculos de coste se va a aproximar a 55 metros por cada grupo de 19, obteniendo en total:

$$55 \text{ m} \times 3 \text{ grupos de 19 a cada inversor} \times 5 \text{ inversores} = 825 \text{ m [Ec. A 7]}$$

Se considera que del punto de unión de los 3 grupos de 19 módulos hasta la entrada del inversor, habrá como máximo una distancia de 25 m que se unen por dos cables de 6 mm² dando un total de 50 m de cable extra por cada inversor. Un total de $50 \times 5 = 250$ metros de cable a sumar.

$$\text{longitud total: } 825 + 250 = 1075 \text{ metros de cable [Ec. A 8]}$$

Suponiendo que se compran 25 metros extra, el encargo es de un total de 1100 m de cable de 6 mm², lo que supone un coste de **814 €** tal y como se muestra en el ANEXO A3.

Sección de 25 mm²

Esta sección de cable une la salida del inversor en corriente alterna a 230V entre las diferentes fases. Corresponderá un total de 3F+N+ TT, por lo que irán un total de 5 cables de 25 mm².

Se ha estimado que, como máximo será un tramo de 50 metros de cable, que multiplicado por los 5 cables por inversor y los 5 inversores dará un total de:

$$50\text{metros} \times 5 \text{ cables} \times 5 \text{ inversores} = 1250 \text{ metros de cable} \quad [\text{Ec. A 9}]$$

Los que suponen un coste de **3400 €** tal y como se ve en el ANEXO A3.

Sección de 120 mm²

Correspondiente al tramo final de acometida en el que se unen las salidas de los 5 inversores con el punto de conexión en BT en el que se inyectará la energía a la red. Se estima un máximo de 10 metros de cable que multiplicado por los 5 cables dan un total de 50 metros de cable a comprar.

Este tramo, supone un coste de **765,50 €** tal y como se ve en el ANEXO A3.

El fabricante consultado, hace un 20% de descuento a grandes cantidades de cable (ver ANEXO A3) como es el caso, por lo que el precio final a pagar será de:

$$\text{Precio final sin IVA} = (814 + 3400 + 765,50) \times 0,8 = 3983,60 \text{ €} \quad [\text{Ec. A 10}]$$

$$\text{Precio con IVA} = 3983,60 \times 1,21 = \mathbf{4820,16 \text{ €}} \quad [\text{Ec. A 11}]$$

Coste de las placas solares fotovoltaicas

Tomando el precio proporcionado por la tienda especializada directamente del ANEXO A3, que indica el precio para los 285 paneles solares de la instalación es de **69805,05 €**.

Coste de la estructuras de paneles solares

Teniendo en cuenta que tenemos disposiciones de 10 placas solares y de 9, se comprarán bloques de hormigón con capacidad para 10 placas en fila con un ángulo de 35º (muy cercano al ángulo de radiación óptima a ver en el ANEXO A3).

Serán necesarios, un total de:

$$(3 \text{ filas de } 10 + 3 \text{ filas de } 9 \text{ a cada inversor}) \times 5 \text{ inversores} = 30 \text{ filas}$$

[Ec. A 12]

Tal y como se ve en el ANEXO mencionado anteriormente, estas 30 filas de bloques tendrán un coste de **10779 €**.

Coste de los inversores

Coste sacado directamente del ANEXO A3., en el que vemos como el total de los 5 inversores conlleva un desembolso de **20500 €**.

Este valor ha sido extraído sin IVA, habrá que añadir un 21% de IVA.

Coste de transporte y montaje de los componentes

Se estiman, entre transporte y montaje que, el coste de una instalación de estas dimensiones puede rondar alrededor de **1000 €**.

Otros costes adicionales

Se estiman unos costes adicionales de **5000 €** extra por componentes que no se hayan tenido en cuenta en este cálculo y pudieran ser necesarios.

En total, la inversión ha sido obtenida en PVSYST como se muestra en la siguiente figura:

Inversión			
Módulos FV	285 unidades de 320 Wp	57690	€
Soportes/Integración		8908	€
Inversores	5 unidades de 18.5 kW	20500	€
Ajustes, cableado, ...		3984	€
Otros, varios...	<input type="button" value="Detalles"/>	6000	€
Sustitución subestimada	-	0	€
Inversión bruta, (con impuestos)		97082	€
Financiamiento			
Impuestos	<input type="text" value="21.00"/> %	20387	€
Subsidios	-	<input type="text" value="0"/>	€
Inversión neta		117469	€

Figura A 2: valor de inversión inicial a realizar.

De esta, sacamos el valor de 117469 € de inversión inicial que va a emplearse en el cálculo de VAN y TIR del siguiente punto.

A2.1.3. Cálculo de VAN y TIR

Para el cálculo de la rentabilidad de la inversión, se estudia el valor actual neto de la inversión y la tasa interna de retorno que tendrá el huerto solar. Para ello, se ha supuesto una degradación de los paneles del 1% anual, lo que implica una pérdida del beneficio directa del 1% anual, y una tasa de rentabilidad para el cálculo del VAN del 3%. La degradación de los paneles se ha obtenido a partir de los valores de garantía proporcionados en el catálogo de fabricante mostrados en el ANEXO A4.

DATOS	DEGRADACIÓN PANELES	HUERTO SOLAR (BEN. NETO)
tasa		3%
Inv. inicial		-117469
Año 1	1	8974,42
Año 2	0,99	8884,68
Año 3	0,98	8794,93
Año 4	0,97	8705,19
Año 5	0,96	8615,44
Año 6	0,95	8525,70
Año 7	0,94	8435,95
Año 8	0,93	8346,21
Año 9	0,92	8256,47
Año 10	0,91	8166,72
Año 11	0,9	8076,98
Año 12	0,89	7987,23
Año 13	0,88	7897,49
Año 14	0,87	7807,75
Año 15	0,86	7718,00
Año 16	0,85	7628,26
Año 17	0,84	7538,51
Año 18	0,83	7448,77
Año 19	0,82	7359,02
Año 20	0,81	7269,28

Tabla A 10: tabla de cálculo del beneficio neto obtenido cada año sucesivo con una degradación de panel del 1% anual.

En la tabla 12, se muestra el valor tanto del VAN como del TIR:

VAN	TIR
4.668,26 €	3,44%

Tabla A 11: valor del VAN y TIR.

A2.2. CÁLCULOS ECONÓMICOS C EN EL CASO DE LA VIVIENDA CON AUTOCONSUMO

Este cálculo se ha dividido en 3 apartados, en los que se calcula el coste del consumo familiar, la inversión necesaria y los ahorros para cada uno de los Kits.

A2.2.1. Precio en euros del consumo energético en electricidad y ACS

Para el ACS se supondrá un gasto de una familia de 4 personas, que mensualmente con gas supondrá alrededor de 35€. Como las facturas consideradas son bimensuales, se sumarán a la factura 70 € de ACS cada dos meses.

En total, el ACS supondrá un total de $35 \times 12 = 420$ € anuales con gas.

Por lo que se refiere a la electricidad y tomando los valores del ANEXO A1, se multiplica cada consumo de periodo por su precio correspondiente y se suma el coste durante el periodo 1 y el coste durante el periodo 3. Se suma también el coste de 2 meses de ACS con gas, obtenido anteriormente (será $35 \times 2 = 70$ € cada dos meses), y se tiene la siguiente tabla:

MES	EN ELECTRICIDAD	PRECIO DEL ACS (€)	ELECTRICIDAD MÁS ACS (€)
Dic y Ene	64,69	70	134,69
Feb y Mar	59,76	70	129,76
Abril y Mayo	50,98	70	120,98
Junio y Julio	57,17	70	127,17
Agosto y Sept	75,79	70	145,79
Oct y Nov	47,64	70	117,64
Total	356,03	420	776,03

Tabla A 12: gasto entre ACS y electricidad de una familia en España.

Como se ve en la tabla, el coste total anual inicial será de 776,02 € entre ACS y electricidad.

A2.2.2. Estimación de la rentabilidad del Kit híbrido

Coste anual en electricidad y ACS con el kit híbrido

Partiendo de la Tabla A 6, de la cual se extraen los datos de consumo de la red, se supone un 75% del consumo calculado durante el periodo caro, y un 25% durante el barato (para tener una situación más desfavorable) se tiene que:

MES	CONSUMO FINAL DESDE LA RED (kWh)	CONSUMO PERIODO 1 (kWh)	CONSUMO PERIODO 3 (kWh)
Dic y Ene	573,57	430,18	143,39
Feb y Mar	269,94	202,46	67,48
Abril y Mayo	23,53	17,65	5,88
Junio y Julio	0	0	0
Agosto y Sept	206,44	154,83	51,61
Oct y Nov	276,75	207,56	69,18

Tabla A 13: consumo de cada periodo y mes con un kit híbrido y un termo para ACS

Que, multiplicando el consumo de cada periodo por su respectivo precio, y sumando los dos periodos se tiene el coste de cada facturación. Finalmente, se suman todos los meses para saber cuánto se pagará de luz y ACS tras la instalación de este kit:

MES	CONSUMO PERIODO 1 (kWh)	PRECIO (€)	CONSUMO PERIODO 3 (kWh)	PRECIO (€)	Total (€)
Dic y Ene	430,18	0,150746	143,39	0,070385	74,94
Feb y Mar	202,46	0,150746	67,49	0,070385	35,27
Abril y Mayo	17,65	0,150746	5,88	0,070385	3,08
Junio y Julio	0,00	0,150746	0,00	0,070385	0,00
Agosto y Sept	154,83	0,150746	51,61	0,070385	26,97
Oct y Nov	207,57	0,150746	69,19	0,070385	36,16
Total (€)					176,42

Tabla A 14: gasto en electricidad y ACS tras la instalación de un kit híbrido.

Como se ve, una vez instalado este kit, tendríamos un gasto anual de 176,42 €. Comparándolo con el previo a la instalación de este kit, obtenido en el punto 2.2.1, tendríamos un ahorro de $776,02 - 176,41 = 599,61$ € anuales.

Cálculo del ahorro anual obtenido con el Kit híbrido

A diferencia de en el punto A2.1.3, en el cuál un 1% de degradación en el panel, implicaba un 1% de pérdida en el beneficio, en esta instalación, al no tener una relación directamente proporcional entre la producción y el beneficio obtenido por lo que no se puede restar directamente un 1% anual del beneficio obtenido en cada año debido a la degradación del panel.

Para obtener el ahorro anual con este Kit, se han empleado los datos de la siguiente tabla. En la Tabla A 1615 se realiza el cálculo del ahorro de cada uno de los 20 años considerados en este estudio. Según lo mostrado, para el año 1 se obtiene un ahorro de 599,61 €, de 594,54 € el segundo año y así sucesivamente tal y como se muestra en la tabla.

DEGRADACIÓN PANELES	DATOS CONSIDERADOS	
1% anual	tasa	3%
-	Inv. Inicial(euros)	-10160,33

Tabla A 15: Datos empleados para cálculo del ahorro estimado con el kit con inversor híbrido.

AÑO	DEGRADACIÓN	MES	COSTE ELECTRICIDAD (€)	BALANCE ANUAL
año 1	1	Dic y enero	74,94	
	1	Feb y marzo	35,27	Coste
	1	abril y mayo	3,08	176,42 €
	1	jun y jul	0,00	Ahorro
	1	agost y sep	26,97	599,61 €
	1	oct y nov	36,16	
año 2	0,99	Dic y enero	75,60	
	0,99	Feb y marzo	36,29	Coste
	0,99	abril y mayo	4,27	181,49 €
	0,99	jun y jul	0,00	Ahorro
	0,99	agost y sep	28,27	594,54 €
	0,99	oct y nov	37,05	
año 3	0,98	Dic y enero	76,26	
	0,98	Feb y marzo	37,31	Coste
	0,98	abril y mayo	5,47	186,56 €
	0,98	jun y jul	0,01	Ahorro
	0,98	agost y sep	29,57	589,46 €
	0,98	oct y nov	37,95	
año 4	0,97	Dic y enero	76,93	
	0,97	Feb y marzo	38,33	Coste
	0,97	abril y mayo	6,67	192,99 €
	0,97	jun y jul	1,37	Ahorro
	0,97	agost y sep	30,87	583,03 €
	0,97	oct y nov	38,84	
año 5	0,96	Dic y enero	77,59	
	0,96	Feb y marzo	39,35	Coste
	0,96	abril y mayo	7,87	199,42 €
	0,96	jun y jul	2,73	Ahorro
	0,96	agost y sep	32,17	576,60 €
	0,96	oct y nov	39,73	
año 6	0,95	Dic y enero	78,25	
	0,95	Feb y marzo	40,37	Coste

	0,95	abril y mayo	9,06	205,85 €
	0,95	jun y jul	4,09	Ahorro
	0,95	agost y sep	33,46	570,17 €
	0,95	oct y nov	40,62	
año 7	0,94	Dic y enero	78,91	
	0,94	Feb y marzo	41,39	Coste
	0,94	abril y mayo	10,26	212,28 €
	0,94	jun y jul	5,45	Ahorro
	0,94	agost y sep	34,76	563,74 €
	0,94	oct y nov	41,52	
año 8	0,93	Dic y enero	79,57	
	0,93	Feb y marzo	42,41	Coste
	0,93	abril y mayo	11,46	218,72 €
	0,93	jun y jul	6,81	Ahorro
	0,93	agost y sep	36,06	557,30 €
	0,93	oct y nov	42,41	
año 9	0,92	Dic y enero	80,24	
	0,92	Feb y marzo	43,43	Coste
	0,92	abril y mayo	12,66	225,15 €
	0,92	jun y jul	8,17	Ahorro
	0,92	agost y sep	37,36	550,87 €
	0,92	oct y nov	43,30	
año 10	0,91	Dic y enero	80,90	
	0,91	Feb y marzo	44,44	Coste
	0,91	abril y mayo	13,85	231,58 €
	0,91	jun y jul	9,53	Ahorro
	0,91	agost y sep	38,66	544,44 €
	0,91	oct y nov	44,20	
año 11	0,90	Dic y enero	81,56	
	0,90	Feb y marzo	45,46	Coste
	0,90	abril y mayo	15,05	238,01 €
	0,90	jun y jul	10,89	Ahorro
	0,90	agost y sep	39,96	538,01 €
	0,90	oct y nov	45,09	

año 12	0,89	Dic y enero	82,22	
	0,89	Feb y marzo	46,48	Coste
	0,89	abril y mayo	16,25	244,44 €
	0,89	jun y jul	12,25	Ahorro
	0,89	agost y sep	41,26	531,58 €
	0,89	oct y nov	45,98	
año 13	0,88	Dic y enero	82,88	
	0,88	Feb y marzo	47,50	Coste
	0,88	abril y mayo	17,45	250,87 €
	0,88	jun y jul	13,61	Ahorro
	0,88	agost y sep	42,55	525,15 €
	0,88	oct y nov	46,87	
año 14	0,87	Dic y enero	83,54	
	0,87	Feb y marzo	48,52	Coste
	0,87	abril y mayo	18,65	257,30 €
	0,87	jun y jul	14,97	Ahorro
	0,87	agost y sep	43,85	518,72 €
	0,87	oct y nov	47,77	
año 15	0,86	Dic y enero	84,21	
	0,86	Feb y marzo	49,54	Coste
	0,86	abril y mayo	19,84	263,73 €
	0,86	jun y jul	16,33	Ahorro
	0,86	agost y sep	45,15	512,29 €
	0,86	oct y nov	48,66	
año 16	0,85	Dic y enero	84,87	
	0,85	Feb y marzo	50,56	Coste
	0,85	abril y mayo	21,04	270,16 €
	0,85	jun y jul	17,69	Ahorro
	0,85	agost y sep	46,45	505,86 €
	0,85	oct y nov	49,55	
año 17	0,84	Dic y enero	85,53	
	0,84	Feb y marzo	51,58	Coste
	0,84	abril y mayo	22,24	276,59 €
	0,84	jun y jul	19,05	Ahorro

	0,84	agost y sep	47,75	499,43 €
	0,84	oct y nov	50,45	
año 18	0,83	Dic y enero	86,19	
	0,83	Feb y marzo	52,60	Coste
	0,83	abril y mayo	23,44	283,02 €
	0,83	jun y jul	20,41	Ahorro
	0,83	agost y sep	49,05	493,00 €
	0,83	oct y nov	51,34	
año 19	0,82	Dic y enero	86,85	
	0,82	Feb y marzo	53,62	Coste
	0,82	abril y mayo	24,63	289,45 €
	0,82	jun y jul	21,77	Ahorro
	0,82	agost y sep	50,34	486,57 €
	0,82	oct y nov	52,23	
año 20	0,81	Dic y enero	87,52	
	0,81	Feb y marzo	54,64	Coste
	0,81	abril y mayo	25,83	295,88 €
	0,81	jun y jul	23,13	Ahorro
	0,81	agost y sep	51,64	480,14 €
	0,81	oct y nov	53,12	

Tabla A 16: cálculo del ahorro estimado para cada año de un kit con inversor híbrido.

Cálculo de VAN y TIR

Se extrae de la Tabla A 1615 expuesta anteriormente, los valores de ahorro anual que supone el kit de inversor híbrido, y se tiene la siguiente tabla:

VALOR	AHORRO KIT INV. HÍBRIDO
TASA (TANTO POR 1)	0,03
-INV. INICIAL	-10160,33
AÑO 1	599,61
AÑO 2	594,54
AÑO 3	589,46
AÑO 4	583,03
AÑO 5	576,6
AÑO 6	570,17
AÑO 7	563,74
AÑO 8	557,31
AÑO 9	550,88
AÑO 10	544,45
AÑO 11	538,02
AÑO 12	531,59
AÑO 13	525,16
AÑO 14	518,73
AÑO 15	512,3
AÑO 16	505,87
AÑO 17	499,44
AÑO 18	493,01
AÑO 19	486,58
AÑO 20	480,15

Tabla A 17: resumen del ahorro obtenido anualmente con un kit con inv. híbrido.

Con estos valores, se realiza el cálculo del VAN y TIR sabiendo que:

$$VAN = -inv. inicial + \sum \left[\frac{AHORRO AÑO_i}{1+TASA} \right] \quad [Ec. A 13]$$

Para el cálculo del TIR, se da valor 0 al VAN en la [Ec. A13], y se despeja el valor de la tasa interna de retorno resultante.

Se realiza el estudio de VAN y TIR, usando para el VAN la tasa de rentabilidad del 3%, y se tiene la siguiente tabla:

VAN y TIR	KIT INV. HIBRIDO
VAN	-2018,57
TIR	0,63%

Tabla A 18: estudio de VAN y TIR de la instalación de un kit con inv. híbrido.

Se puede ver, como queriendo obtener una tasa de rentabilidad anual del 3%, durante estos 20 años, el valor actual neto es negativo, lo cual quiere decir que destruye valor, por lo que no se realizaría la inversión en este kit.

Se ve como en el caso en el cual se realizara la inversión en este kit tendría una tasa de rentabilidad del 0,63% anual.

A2.2.3. Estimación de la rentabilidad del Kit de conexión a red

Coste anual en electricidad y ACS con el kit de conexión a red

Tal y como se ve en la Tabla A 8, se tienen los consumos de cada periodo con este kit durante el año 2017, de forma que, multiplicando cada consumo, por cada precio de la luz en cada uno de los periodos, se tiene el coste de cada facturación. Se suman las 6 facturaciones, y se tiene el coste anual durante 2017 tras la instalación de este kit, tal y como se ve en la siguiente tabla:

MES	PERIODO 1	PRECIO (€)	PERIODO 3	PRECIO (€)	Total (€)
Dic y Ene	146	0,150746	208	0,070385	36,65
Feb y Mar	128	0,150746	213	0,070385	34,29
Abril y Mayo	91	0,150746	116	0,070385	21,88
Junio y Julio	73	0,150746	189	0,070385	24,31
Agosto y Sept	91	0,150746	295	0,070385	34,48
Oct y Nov	128	0,150746	195	0,070385	33,02
Total (€)					184,63

Tabla A 19: coste durante 2017 tras instalación de un kit de conexión a red.

Que para tener el ahorro anual obtenido, se deberá restar el coste sin kit menos el coste con este kit, siendo un ahorro anual de 591,40 €, como se muestra en la Tabla A 2119.

Cálculo del ahorro anual obtenido con el Kit de conexión a red

A diferencia de en el punto A2.1.3, en el cuál un 1% de degradación en el panel, implicaba un 1% de pérdida en el beneficio en esta instalación, tal y como sucedía en la anterior no se puede restar directamente un 1% anual del beneficio obtenido en cada año debido a la degradación del panel.

Para obtener el porcentaje de beneficio que se pierde, realizo el cálculo de cada año, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

DEGRADACIÓN PANELES		DATOS CONSIDERADOS	
1% anual	tasa	0,03	
-	Inv. Inicial(euros)	-5587,85	

Tabla A 20: Datos empleados para cálculo del ahorro estimado con el kit de conexión a red.

AÑO	DEGRADACIÓN	MES		BALANCE ANUAL
año 1	1	Dic y enero	36,65	Coste
	1	Feb y marzo	34,29	184,63 €
	1	abril y mayo	21,88	Ahorro
	1	jun y jul	24,31	591,40 €
	1	agost y sep	34,48	
	1	oct y nov	33,02	
año 2	0,99	Dic y enero	36,65	Coste
	0,99	Feb y marzo	34,29	184,63 €
	0,99	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,99	jun y jul	24,31	591,40 €
	0,99	agost y sep	34,48	
	0,99	oct y nov	33,02	
año 3	0,98	Dic y enero	36,65	Coste
	0,98	Feb y marzo	34,29	184,63 €
	0,98	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,98	jun y jul	24,31	591,40 €
	0,98	agost y sep	34,48	
	0,98	oct y nov	33,02	
año 4	0,97	Dic y enero	36,65	Coste
	0,97	Feb y marzo	34,29	184,63 €
	0,97	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,97	jun y jul	24,31	591,40 €
	0,97	agost y sep	34,48	
	0,97	oct y nov	33,02	
año 5	0,96	Dic y enero	36,65	Coste
	0,96	Feb y marzo	34,29	184,63 €
	0,96	abril y mayo	21,88	Ahorro

	0,96	jun y jul	24,31	591,40 €
	0,96	agost y sep	34,48	
	0,96	oct y nov	33,02	
año 6	0,95	Dic y enero	36,65	Coste
	0,95	Feb y marzo	34,29	184,63 €
	0,95	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,95	jun y jul	24,31	591,40 €
	0,95	agost y sep	34,48	
	0,95	oct y nov	33,02	
año 7	0,94	Dic y enero	36,65	Coste
	0,94	Feb y marzo	34,29	184,63 €
	0,94	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,94	jun y jul	24,31	591,40 €
	0,94	agost y sep	34,48	
	0,94	oct y nov	33,02	
año 8	0,93	Dic y enero	36,65	Coste
	0,93	Feb y marzo	34,29	185,05 €
	0,93	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,93	jun y jul	24,31	590,98 €
	0,93	agost y sep	34,48	
	0,93	oct y nov	33,44	
año 9	0,92	Dic y enero	36,65	Coste
	0,92	Feb y marzo	34,29	186,08 €
	0,92	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,92	jun y jul	24,31	589,95 €
	0,92	agost y sep	34,48	
	0,92	oct y nov	34,47	
año 10	0,91	Dic y enero	36,65	Coste
	0,91	Feb y marzo	34,29	187,11 €
	0,91	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,91	jun y jul	24,31	588,92 €
	0,91	agost y sep	34,48	
	0,91	oct y nov	35,50	
año 11	0,90	Dic y enero	36,65	Coste

	0,90	Feb y marzo	34,29	188,47 €
	0,90	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,90	jun y jul	24,31	587,56 €
	0,90	agost y sep	34,81	
	0,90	oct y nov	36,53	
año 12	0,89	Dic y enero	36,65	Coste
	0,89	Feb y marzo	34,29	190,86 €
	0,89	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,89	jun y jul	24,31	585,17 €
	0,89	agost y sep	36,17	
	0,89	oct y nov	37,56	
año 13	0,88	Dic y enero	36,65	Coste
	0,88	Feb y marzo	34,29	193,25 €
	0,88	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,88	jun y jul	24,31	582,78 €
	0,88	agost y sep	37,53	
	0,88	oct y nov	38,59	
año 14	0,87	Dic y enero	36,65	Coste
	0,87	Feb y marzo	34,29	195,64 €
	0,87	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,87	jun y jul	24,31	580,39 €
	0,87	agost y sep	38,89	
	0,87	oct y nov	39,61	
año 15	0,86	Dic y enero	37,38	Coste
	0,86	Feb y marzo	34,29	198,76 €
	0,86	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,86	jun y jul	24,31	577,27 €
	0,86	agost y sep	40,25	
	0,86	oct y nov	40,64	
año 16	0,85	Dic y enero	38,65	Coste
	0,85	Feb y marzo	34,29	202,41 €
	0,85	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,85	jun y jul	24,31	573,62 €
	0,85	agost y sep	41,62	

	0,85	oct y nov	41,67	
año 17	0,84	Dic y enero	39,91	Coste
	0,84	Feb y marzo	34,29	206,06 €
	0,84	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,84	jun y jul	24,31	569,97 €
	0,84	agost y sep	42,98	
	0,84	oct y nov	42,70	
año 18	0,83	Dic y enero	41,17	Coste
	0,83	Feb y marzo	34,29	209,71 €
	0,83	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,83	jun y jul	24,31	566,32 €
	0,83	agost y sep	44,34	
	0,83	oct y nov	43,73	
año 19	0,82	Dic y enero	42,44	Coste
	0,82	Feb y marzo	34,29	213,37 €
	0,82	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,82	jun y jul	24,31	562,66 €
	0,82	agost y sep	45,70	
	0,82	oct y nov	44,75	
año 20	0,81	Dic y enero	43,70	Coste
	0,81	Feb y marzo	34,29	217,44 €
	0,81	abril y mayo	21,88	Ahorro
	0,81	jun y jul	24,73	558,59 €
	0,81	agost y sep	47,06	
	0,81	oct y nov	45,78	

Tabla A 21: cálculo del ahorro estimado para cada año con un kit de conexión a red.

Cálculo de VAN y TIR

Se extrae de la Tabla A 2119 los valores de ahorro de cada año con el kit de conexión a red, y se tiene la siguiente tabla:

VALOR	AHORRO KIT CONEXIÓN A RED
TASA (TANTO POR 1)	0,03
INV. INICIAL	-5587,85
AÑO 1	591,40
AÑO 2	591,40
AÑO 3	591,40
AÑO 4	591,40
AÑO 5	591,40
AÑO 6	591,40
AÑO 7	591,40
AÑO 8	590,98
AÑO 9	589,95
AÑO 10	588,92
AÑO 11	587,56
AÑO 12	585,17
AÑO 13	582,78
AÑO 14	580,39
AÑO 15	577,27
AÑO 16	573,62
AÑO 17	569,97
AÑO 18	566,32
AÑO 19	562,66
AÑO 20	558,59

Tabla A 22: resumen del ahorro de cada año con un kit de conexión a red.

Con esta tabla, se realiza según la [Ec. A 13] el cálculo del VAN.

Al igual que con el kit de inversor híbrido, se da el valor 0 al VAN en la ecuación dicha anteriormente para el cálculo del TIR.

Se tiene pues, en la siguiente tabla, el valor del VAN y TIR:

VAN y TIR	KIT CONEX A RED
VAN	3104,73
TIR	8,41%

Tabla A 23: cálculo del VAN y TIR de un kit de conexión a red.

Se puede ver, como queriendo obtener una tasa de rentabilidad anual del 3%, durante estos 20 años, el valor actual neto es positivo, lo cual quiere decir que esta inversión crea valor, por lo que se realizaría la instalación de este kit.

Se ve como realizando la inversión en este kit, se tendría una tasa de rentabilidad del 8,93% anual.

ANEXO A3. Bases de datos empleadas en los estudios

A3.1. BASE DE DATOS DE RADIACIÓN SOLAR EN EL EMPLAZAMIENTO

A través de PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>), se obtiene lo siguiente:

23/5/2018	re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/MRcalc.php					
Monthly Solar Irradiation						
PVGIS Estimates of long-term monthly averages						
Location: 41°37'31" North, 0°55'42" West, Elevation: 271 m a.s.l.,						
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF						
Optimal inclination angle is: 37 degrees						
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %						
Month	H_h	H_{opt}	$H(90)$	I_{opt}	T_{24h}	N_{DD}
Jan	1930	3400	3440	64	7.1	295
Feb	3020	4730	4300	57	6.7	226
Mar	4610	5940	4470	45	10.4	141
Apr	5440	5950	3460	29	14.0	86
May	6440	6240	2870	17	17.3	10
Jun	7280	6670	2600	8	21.7	2
Jul	7620	7170	2860	12	24.6	0
Aug	6590	6930	3570	24	24.8	1
Sep	5090	6280	4300	40	21.0	16
Oct	3570	5190	4420	53	16.7	101
Nov	2260	3880	3820	63	11.0	267
Dec	1730	3230	3380	67	7.4	331
Year	4640	5470	3620	37	15.2	1476
H_h : Irradiation on horizontal plane (Wh/m ² /day)						
H_{opt} : Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m ² /day)						
$H(90)$: Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m ² /day)						
I_{opt} : Optimal inclination (deg.)						
T_{24h} : 24 hour average of temperature (°C)						
N_{DD} : Number of heating degree-days (-)						

Figura A 3: base de datos de radiación solar en el emplazamiento

A3.2. BASE DE DATOS DE PRECIO DE LA ELECTRICIDAD

A través de OMIE, se obtiene la siguiente gráfica con los datos del precio por mes durante el año 2017:

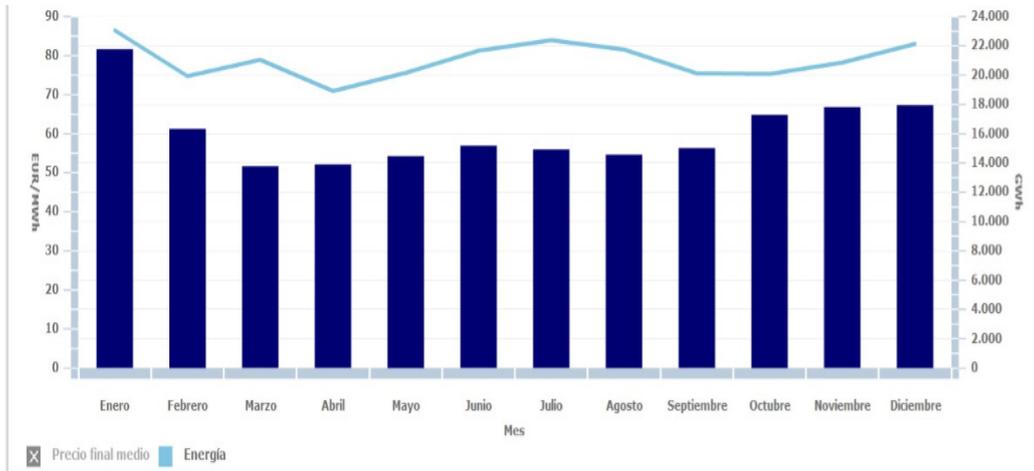


Figura A 4: base de datos de precio mensual de la luz en 2017 en España.

A3.3. PRECIOS DE COMPONENTES Y KITS SOLARES

Los datos de los precios de los diferentes componentes de las instalaciones analizadas se han obtenido de diferentes tiendas especializadas, cuyos valores se muestran a continuación

A3.3.1. Paneles fotovoltaicos

Detalles del pedido			
Nombre del producto	Precio	Cantidad	Subtotal
 Panel Solar 320W 24V Amerisolar Policristalino	244,93 €	- 285 +	69.805,05 €
Código de descuento:			Total: 69.805,05 €
<input type="text"/>			<input type="button" value="EMAIL CESTA"/>
<input type="button" value="APLICAR UN CUPÓN"/>			

Figura A 5: precio placas solares para venta.

A3.3.2. Cableado

Cantidad	Nombre	Precio unitario	Precio total
50 metro(s)	 MANGUERA FLEXIBLE LIBRE DE HALOGENOS 0,6/1KV 1x120 MM2 <small>N.º de producto: RZ1-K 1KV 1x120 MM2</small>	15,31 € / m	765,50 €
1.250 metro(s)	 CABLE FLEXIBLE 25MM2 LIBRE DE HALOGENOS <small>N.º de producto: CABLE 25MM2 AZUL</small>	2,72 € / m	3.400,00 €
1.100 metro(s)	 CABLE FLEXIBLE 6 MM2 LIBRE DE HALOGENOS <small>N.º de producto: CABLE 6MM2 AMAR/V...</small>	0,74 € / m	814,00 €
Entrega estándar península			0,00 €
Descuento de la cesta de la compra 20%			-995,90 €
Importe total			3.983,60 €
sin IVA			

Figura A 6: precio del cableado para venta de energía.

A3.3.3. Estructuras de soporte para los módulos solares

Producto	Descripción	Disponibilidad	Precio unitario	Cantidad	Total
	Estructura Bloque Hormigón 10 paneles solares Ref.SM-1319 Ángulo de inclinación34°	En stock	359,30 €	30	10 779,00 €
Total de productos (IVA incluido):			10 779,00 €		
Total envío:			Envío gratuito!		
Total			10 779,00 €		

Figura A 7: precio estructuras de placas para venta de energía.

A3.3.4. Inversores

Descripción	Cantidad	Precio	SubTotal/Total
INVERSOR SIRIO K18 IMD	6,00	4.100,00	24.600,00
<i>SIRIO K 18 IMD:</i>			
<i>Potencia nominal corriente alterna 18 KVA</i>			
<i>Potencia máxima corriente alterna 18 KW (cos?=1)</i>			
Suma :		24.600,00 €	
I.V.A.		5.166,00 €	
Importe Total		29.766,00 €	

Figura A 8: precio de 6 inversores especiales para conectar a red en BT.

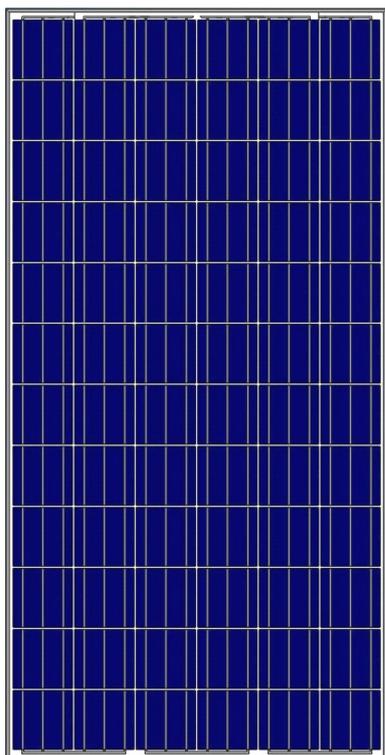
Siendo el precio por unidad de 4100 €, el precio para 5 inversores será de 20500 € + IVA.

ANEXO A4. Catálogos de los componentes

Se adjuntan en el presente ANEXO, los catálogos de los componentes seleccionados para los estudios descritos en la memoria de este TFG.

A4.1. Catálogo de paneles solares AS-6P policristalinos

AS-6P



POLYCRYSTALLINE MODULE

ADVANCED PERFORMANCE & PROVEN ADVANTAGES

- ☒ High module conversion efficiency up to 17.01% through advanced manufacturing technology.
- ☒ Low degradation and excellent performance under high temperature and low light conditions.
- ☒ Robust aluminum frame ensures the modules to withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- ☒ Positive power tolerance of 0 ~ +3 %.
- ☒ High ammonia and salt mist resistance.
- ☒ Potential induced degradation (PID) resistance.

CERTIFICATIONS

- ☒ IEC61215, IEC61730, IEC62716, IEC61701, UL1703, CE, ETL(USA), JET(Japan), J-PEC(Japan), MCS(UK), CEC(Australia), FSEC(FL-USA), CSI Eligible(CA-USA), Israel Electric(Israel), Kemco(South Korea), InMetro(Brazil), TSE(Turkey)

**Passionately committed
to delivering innovative
energy solution**

- ☒ ISO9001:2008: Quality management system
- ☒ ISO14001:2004: Environmental management system
- ☒ OHSAS18001:2007: Occupational health and safety management system

SPECIAL WARRANTY

- ☒ 12 years limited product warranty.
- ☒ Limited linear power warranty: 12 years 91.2% of the nominal power output,

30 years 80.6% of the nominal power output.



Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Ltd.

www.weamerisolar.com, sales@weamerisolar.com

EN-V1.0-2015

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT STC

Nominal Power (P_{max})	295W	300W	305W	310W	315W	320W	325W	330W
Open Circuit Voltage (V_{OC})	45.2V	45.3V	45.4V	45.5V	45.6V	45.7V	45.8V	45.9V
Short Circuit Current (I_{SC})	8.60A	8.68A	8.76A	8.85A	8.93A	9.00A	9.08A	9.16A
Voltage at Nominal Power (V_{mp})	36.6V	36.7V	36.8V	36.9V	37.0V	37.1V	37.2V	37.3V
Current at Nominal Power (I_{mp})	8.07A	8.18A	8.29A	8.41A	8.52A	8.63A	8.74A	8.85A
Module Efficiency (%)	15.20	15.46	15.72	15.98	16.23	16.49	16.75	17.01
Operating Temperature	-40°C to +85°C							
Maximum System Voltage	1000V DC							
Fire Resistance Rating	Type 1(UL1703)/Class C(IEC61730)							
Maximum Series Fuse Rating	15A							

STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT NOCT

Nominal Power (P_{max})	217W	221W	224W	228W	232W	236W	239W	243W
Open Circuit Voltage (V_{OC})	41.6V	41.7V	41.8V	41.9V	42.0V	42.0V	42.1V	42.2V
Short Circuit Current (I_{SC})	6.97A	7.03A	7.10A	7.17A	7.23A	7.29A	7.35A	7.42A
Voltage at Nominal Power (V_{mp})	33.3V	33.4V	33.5V	33.6V	33.7V	33.8V	33.9V	34.0V
Current at Nominal Power (I_{mp})	6.52A	6.62A	6.69A	6.79A	6.89A	6.98A	7.05A	7.15A

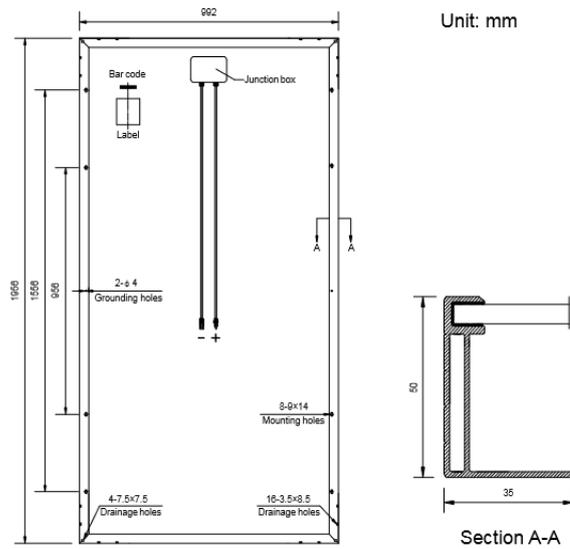
NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS	
Cell type	Polycrystalline 156x156mm (6x6inches)
Number of cells	72 (6x12)
Module dimensions	1956x992x50mm (77.01x39.06x1.97inches)
Weight	27kg (59.5lbs)
Front cover	4.0mm (0.16inches) low-iron tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP67, 3 diodes
Cable	4mm ² (0.006inches ²), 1000mm (39.37inches)
Connector	MC4 or MC4 compatible

TEMPERATURE CHARACTERISTICS	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C
Temperature Coefficients of P _{max}	-0.43%/°C
Temperature Coefficients of V _{oc}	-0.33%/°C
Temperature Coefficients of I _{sc}	0.056%/°C

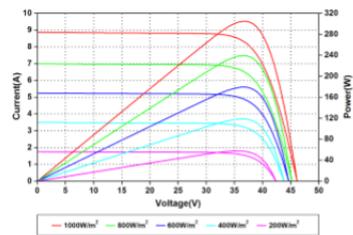
PACKAGING	
Standard packaging	21pcs/pallet
Module quantity per 20' container	210 pcs
Module quantity per 40' container	462 pcs

ENGINEERING DRAWINGS

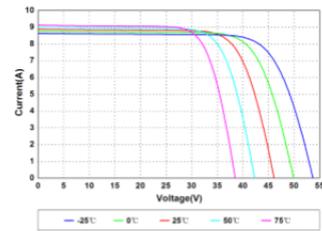


Specifications in this datasheet are subject to change without prior notice.

IV CURVES



Current-Voltage and Power-Voltage Curves at Different Irradiances



Current-Voltage Curves at Different Temperatures

Inversores Centralizados

12-250 kW



A DESTACAR

- **Con transformador aislante de baja frecuencia**
Energía nominal plena hasta 45 °C
- **Pantalla táctil LCD color con funciones de registro de datos**
- **Apta para operar con módulos que exigen la puesta a tierra de un polo**

Los inversores Sirio Centralizados permiten la conexión directa a la red de distribución de baja tensión garantizando su separación galvánica del equipo de corriente continua. El dimensionado amplio del transformador y de los demás componentes del inversor permiten una alta eficiencia de conversión y garantizan un rendimiento que se sitúa entre los más altos de los aparatos de la misma categoría.

Máxima energía y seguridad

El algoritmo de búsqueda del punto de máxima potencia (MPPT), implementado en el sistema de control de los inversores Sirio Centralizados, permite aprovechar completamente, en cualquier condición de radiación y de temperatura, el generador fotovoltaico haciendo que el equipo trabaje constantemente con un rendimiento máximo.

En el caso de ausencia de sol, el convertidor se sitúa inmediatamente en stand-by, retomando el funcionamiento normal cuando vuelve el sol; esta característica permite reducir al mínimo el autoconsumo y maximizar la producción

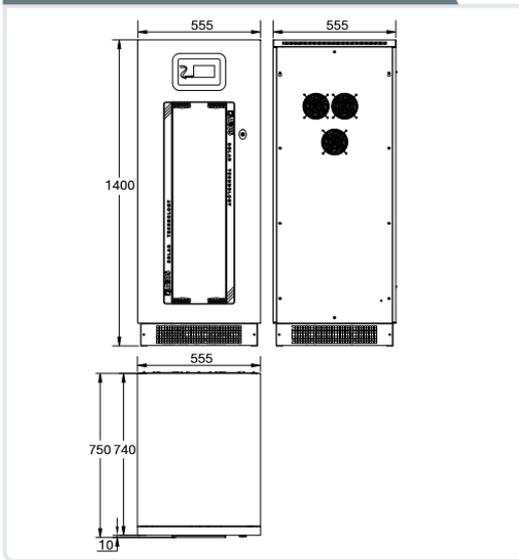
MODELOO	SIRIO K12	SIRIO K15	SIRIO K18	SIRIO K25	SIRIO K33
Potencia nominal corriente alterna	12 KVA	15 KVA	18 KVA	25 KVA	33 KVA
Potencia máxima corriente alterna	12 KW (cosφ=1)	15 KW (cosφ=1)	18 KW (cosφ=1)	25 KW (cosφ=1)	33 KW (cosφ=1)
ENTRADA					
Tensión continua máxima en circuito abierto	800 Vdc				
Rango completo de MPPT	330 ÷ 700 Vdc				
Intervalo de ejercicio	330 ÷ 700 Vdc				
Corriente de entrada máxima	36 Acc	54 Acc	63 Acc	80 Acc	105 Acc
Tensión de umbral para el suministro hacia la red	390 Vdc				
Tensión de Ripple	<1%				
Número de entradas	1				
Número de MPPT	1				
Conectores CC	Term. de tornillo				
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	17,3 Aca	21,7 Aca	26 Aca	36 Aca	48 Aca
Corriente máxima	22,4 Aca	28,1 Aca	33 Aca	46 Aca	60 Aca
Contribución a la corriente de cortocircuito	34 Aca	42 Aca	50 Aca	68 Aca	90 Aca
Distorsión armónica (THDi)	<3%				
Factor de potencia	de 0,9 ind. a 0,9 cap. ⁽¹⁾				
Separación galvánica	Transformador BF				
Conectores CA	Term. de tornillo				
SISTEMA					
Rendimiento máximo	95,8%				
Rendimiento europeo	94,8%		94,9%		
Consumo stand-by	<32W				
Consumo de noche	<32W				
Protecciones internas	Magnetotérmico lado CA - Seccionador en lado CC				
Protección funcionamiento en isla	Si				
Detección dispersión hacia tierra	Si				
Disipación de calor	Ventilador controlado				
Temperatura de servicio	-20°C ÷ 45°C (sin reducción de potencia)				
Temperatura de almacenamiento	-20°C ÷ 70°C				
Humedad	5 ÷ 95% sin condensación				
Peso	310 Kg	320 Kg	340 Kg	350 Kg	380 Kg
STANDARDS					
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				
Supervisión de la red	CEI 0-21, CEI 0-16, A70, VDE 0126-1-1, G59/2, Real Decreto 413/2014, PO12.3				

NOTA: Para los dibujos mecánicos y gráficos de rendimiento, consulte la pag. 63

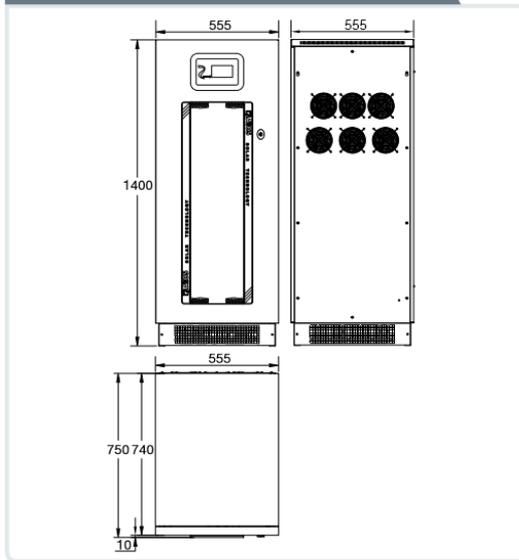
(1) Estos valores pueden variar de acuerdo con las regulaciones locales.

INVERSORES CENTRALIZADOS

Sirio K12 / K15 / K18



Sirio K25 / K33 / K40 / K25 HV / K33 HV / K40 HV



Sirio K12 / K15 / K18

