



E.T.S. DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Trabajo Fin de Grado***

**INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA BIFACIAL  
PARA AUTOCONSUMO DOMÉSTICO  
(Off-grid photovoltaic system for domestic  
self-consumption)**

**Para acceder al Título de**

Graduado en  
Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación

**Autor: Pablo Gutiérrez Ruiz**

**Abril - 2022**



E.T.S. DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

## GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

### CALIFICACIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO

**Realizado por:** Pablo Gutiérrez Ruiz

**Director del TFG:** Jesús María Mirapeix Serrano

**Título:** “Instalación fotovoltaica bifacial para autoconsumo doméstico ”

**Title:** “Off-grid photovoltaic system for domestic self-consumption “

**Presentado a examen el día:**

para acceder al Título de

## GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

### Composición del Tribunal:

Presidente (Apellidos, Nombre): Adolfo Cobo García

Secretario (Apellidos, Nombre): Jesús M. Mirapeix Serrano

Vocal (Apellidos, Nombre): Pilar Bernardos Llorente

Este Tribunal ha resuelto otorgar la calificación de: .....

Fdo.: El Presidente

Fdo.: El Secretario

Fdo.: El Vocal

Fdo.: El Director del TFG  
(sólo si es distinto del Secretario)

Vº Bº del Subdirector

Trabajo Fin de Grado Nº  
(a asignar por Secretaría)



# Agradecimientos

A mi tutor Jesús Mirapeix, por el tiempo dedicado y por proporcionarme su experiencia y perspectiva sobre la fotovoltaica.



# ÍNDICE

<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 La energía .....	1
1.2 ¿Qué motiva las Energías Renovables?.....	2
<b>Capítulo 2. Situación de las Energías Renovables.....</b>	<b>8</b>
2.1 Contexto mundial .....	8
2.2 Energía solar FV: actualidad mundial .....	13
2.3 Energías Renovables: actualidad en España.....	17
2.4 Energía solar FV: actualidad en España .....	20
<b>Capítulo 3. Elementos de una Instalación solar FV .....</b>	<b>22</b>
3.1 Generador Fotovoltaico .....	22
3.1.1 Unión PN y efecto fotoeléctrico.....	23
3.1.2 El panel fotovoltaico .....	24
3.1.3 Tecnología bifacial .....	25
3.1.3.1 El albedo .....	26
3.1.3.2 Parámetros de los módulos bifaciales .....	27
3.2 Regulador de carga.....	28
3.3 Baterías o sistema de acumulación.....	29
3.4 Inversor.....	30
3.5 Cableado.....	30
3.6 Protecciones.....	30
<b>Capítulo 4. Solución propuesta.....</b>	<b>31</b>
4.1 Emplazamiento .....	31
4.2 Ángulo de inclinación y orientación.....	32
4.3 Distancia entre paneles .....	33
4.4 Datos de radiación del Sol .....	35

4.5 Consumo diario .....	36
4.6 Dimensionamiento del generador fotovoltaico .....	37
4.7 Dimensionamiento del sistema de acumulación.....	38
4.8 Dimensionamiento del regulador .....	39
4.9 Dimensionamiento del inversor.....	40
4.10 Dimensionamiento del cableado.....	41
4.11 Protecciones.....	43
<b>Capítulo 5. Análisis económico .....</b>	<b>45</b>
5.1 Presupuesto.....	45
5.2 Balance económico.....	47
5.3 Tiempo de amortización.....	48
<b>Capítulo 6. Esquema eléctrico .....</b>	<b>52</b>
<b>Capítulo 7. Conclusiones .....</b>	<b>54</b>
<b>Anexo A.....</b>	<b>55</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>67</b>





## **Palabras clave**

Energía renovable, energía, actualidad, capacidad, fotovoltaica, bifacial, consumo, dimensionamiento, autoconsumo, amortización.

## **Key words**

Renewable energy, energy, current issues, capacity, photovoltaic, bifacial, consumption, sizing, self-consumption, amortization.

# Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado presenta como objetivos un conocimiento general de la actualidad de las energías renovables junto con el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica.

La demanda de energía continúa en aumento y dichas fuentes energéticas son contaminantes y, por lo tanto, contribuyen al Cambio Climático. Por ello, surge la motivación de las energías renovables.

La energía renovable es de las únicas fuentes de generación eléctrica en continuo aumento y, es especial, la energía solar fotovoltaica. Políticas que benefician y atraen a inversores a la energía solar, así como, la reducción de costes de las instalaciones, han desarrollado dicha tecnología de manera exponencial.

Se comienza el estudio analizando el emplazamiento, datos de radiación, distancia entre paneles y altura sobre el suelo debido a la tecnología bifacial. Además, se precisa un dimensionamiento de cada parte de una instalación fotovoltaica. Por último, se incluye un análisis económico con diferentes escenarios.

# Abstract

This End of Degree paper presents different goals such as a currently general knowledge of the renewable energies and the sizing of a photovoltaic installation.

Energy demand continues rising and most of the energy sources are polluting and so contribute to Climate Change. Therefore, the motivation of renewable energies arises.

Renewable energy is one of the only continuously increasing sources of electricity generation and, especially, photovoltaic solar energy. Policies which benefit and attract investors to solar energy, as well as the reduction of plant costs, have developed this technology exponentially.

The study begins by analyzing the site, radiation data, distance between panels and height above the ground due to bifacial technology. In addition, a sizing of each part of a photovoltaic system is required. Finally, an economic analysis with different scenarios is included.



# Capítulo 1. Introducción

## 1.1 La energía

La energía se entiende como la capacidad que tienen los cuerpos de realizar un trabajo, un trabajo que puede manifestarse de diferentes maneras como la generación de calor, un trabajo mecánico, la emisión de luz o generación de calor [1].

Cuando hablamos de energía, no podemos olvidar el Principio de Conservación de la Energía que establece que “La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma”. Se trata de un principio clave de mencionar al hablar de energías renovables ya que éstas aprovechan la energía que desprende la naturaleza para transformarla en la energía que necesitamos como sociedad.

Desde el punto de vista de la utilización de la energía, podemos clasificarla en:

- Energía Primaria: almacenada directamente en la naturaleza (petróleo, carbón, gas natural)
- Energía Útil: energía que se obtiene de la transformación de la Energía Primaria (electricidad o gasolina).

Por otra parte, atendiendo a su disponibilidad, las fuentes de energía pueden clasificarse en:

- Energías No Renovables: aquellas que existen de forma limitada (petróleo, carbón, gas natural).
- Energías Renovables: aquellas que son derivadas de fuentes virtualmente ilimitadas (energía solar, eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica, mareomotriz).

## 1.2 ¿Qué motiva las Energías Renovables?

El camino que se sigue para avanzar hacia un mundo sostenible es puesto en riesgo por el continuo aumento del consumo energético cuyas fuentes de energía son, en mayor medida, contaminantes. El suministro de petróleo, carbón o el gas natural continúa creciendo, así como, los esfuerzos para mantener el nivel de producción de combustibles fósiles.

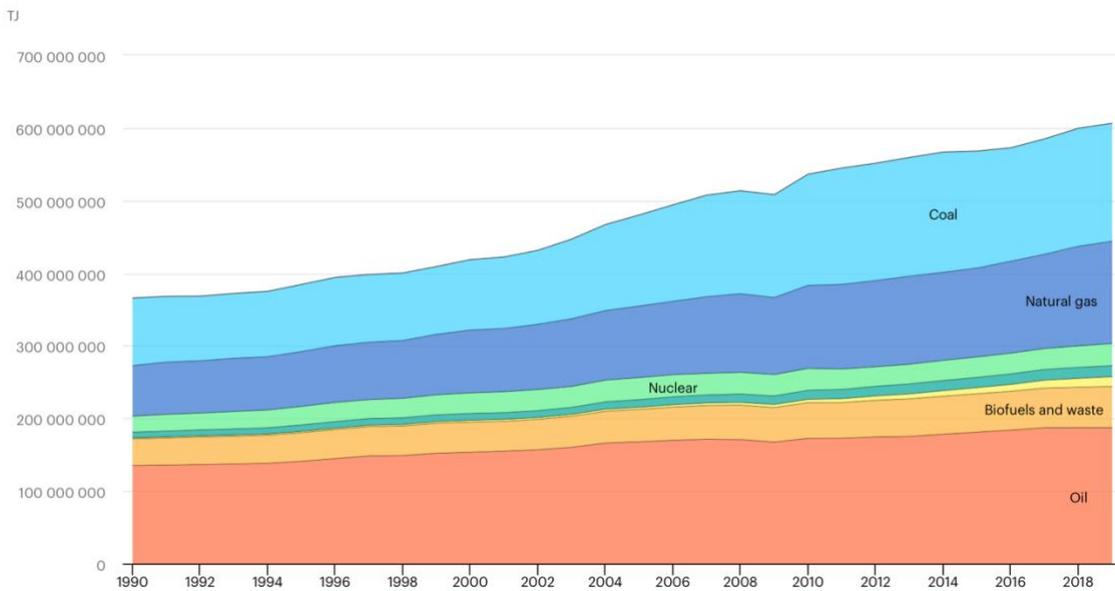


Figura 1.1: Suministro mundial de energía (Fuente IEA)

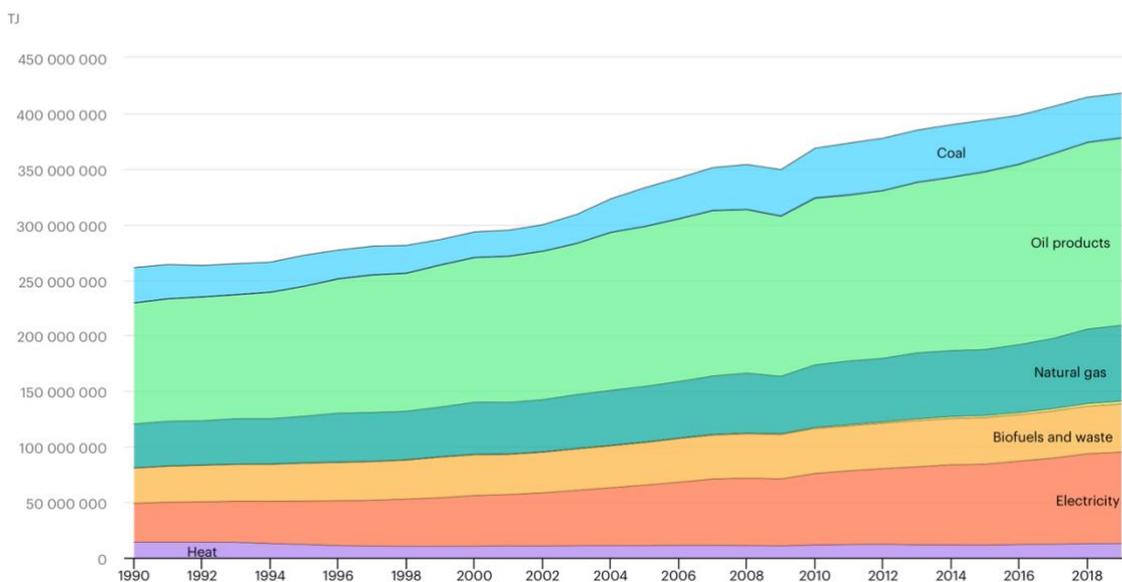


Figura 1.2: Consumo mundial de energía (Fuente IEA)

Los principales problemas de los combustibles fósiles son el efecto dañino para el planeta que provoca su uso y el **agotamiento de sus fuentes**. La extracción durante años en pozos de petróleo de acceso “fácil” se agotará y la búsqueda y extracción en nuevos pozos significará un aumento de los esfuerzos, un menor suministro y desde luego un encarecimiento del precio final.

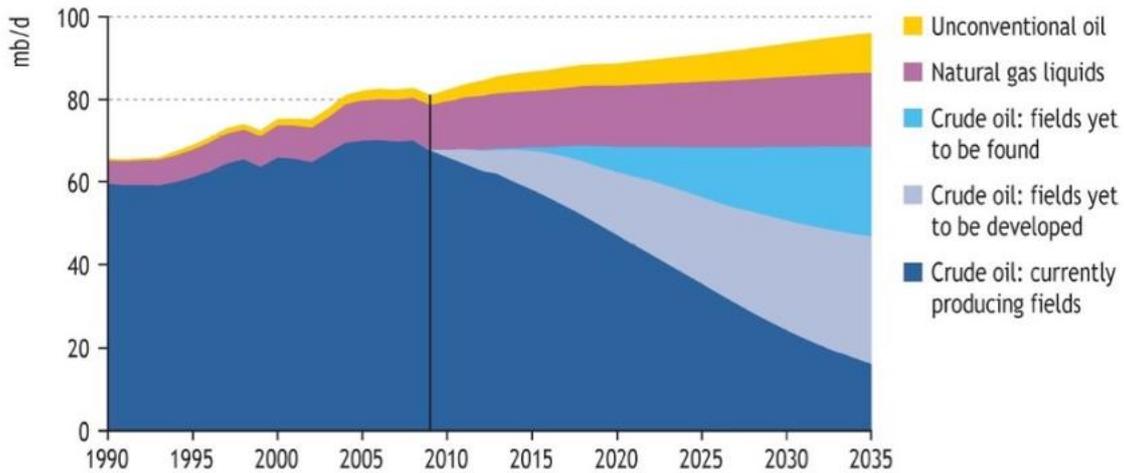


Figura 1.3: Producción de combustibles fósiles en los próximos años (Fuente: IEA)

El modelo energético actual es insostenible, principalmente debido a que se basa en el consumo de petróleo y carbón, recursos limitados. Otra de las problemáticas que presenta el modelo energético actual de algunos países es la alta **dependencia energética**. Podría definirse como la cantidad de energía primaria que un país necesita importar para poder abastecerse, ya sea en forma de electricidad, calor o para el transporte.

La dependencia que tiene un país del exterior para consumir energía puede traer consecuencias: la inestabilidad en el suministro energético ya que éste no está únicamente en manos del país importador y un impacto en la economía por las fluctuaciones del precio de la energía.

¿Son las energías renovables un factor clave cuando hablamos de dependencia energética? La respuesta es sí. Por ejemplo, en España esta dependencia se situó en su máximo histórico en el año 2008 cuando alcanzó el 81,3%. Gracias a la generación de energías renovables la dependencia se redujo al 70,2% los años siguientes siendo actualmente

en torno al 73-74%. Por tanto, la inversión en energías renovables es una forma de reducir la dependencia energética.



Figura 1.4: Dependencia energética España vs UE (Fuente: Eurostat)

Finalmente, tal y como muestra la figura 1.2, la tendencia del consumo energético aumenta. La **demanda energética** continúa en alza y se prevé que se dispare de aquí a 2040. La Agencia Internacional de la Energía avisa de que se elevará un 30%. Las razones son el crecimiento de la tasa promedio de la economía global de un 3,4% anual y la expansión de la población en unos 1.500 millones de personas hasta 2040 con su correspondiente proceso de urbanización.

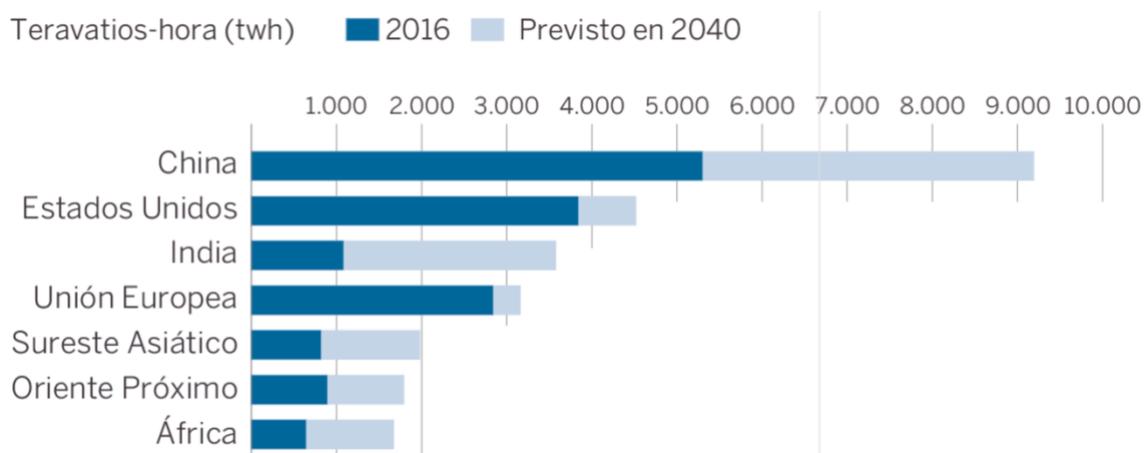


Figura 1.5: Demanda de electricidad por regiones (Fuente: El País a través de la IEA)

## 1.3 El Cambio Climático

Según la RAE “cambio del clima, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

Hoy en día, la mayor parte de la comunidad científica está de acuerdo en que el Cambio Climático es una realidad. A este ritmo, cada vez será más complicado vivir en el mundo. El principal motivo de este cambio son la quema de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. ¿Cuáles son estos gases? ¿Por qué los gases de efecto invernadero calientan la atmósfera?

La Tierra recibe radiación Solar. La mayor parte llega a la superficie terrestre donde es reflejada por superficies claras como la nieve o absorbida por superficies oscuras. Otra parte de la radiación rebota en las nubes o partículas de aire y es expulsada al exterior [2].

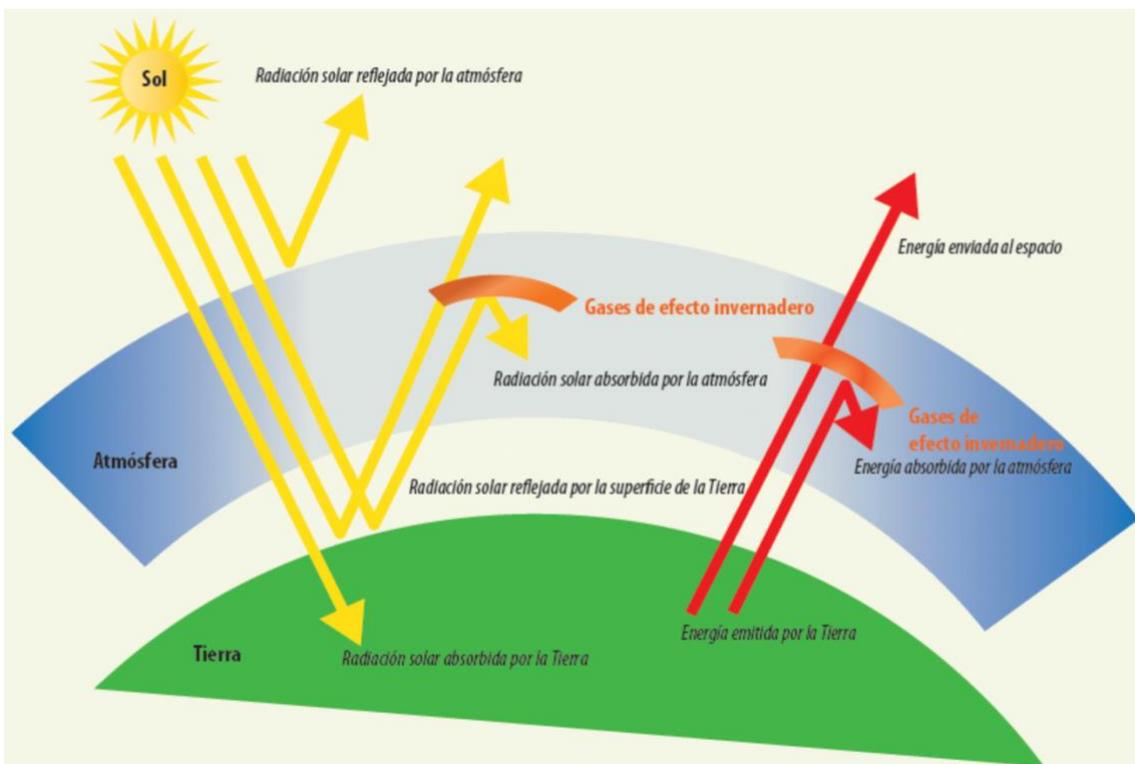


Figura 1.6: Calentamiento de la Tierra (Fuente: Tribunal de Cuentas Europeo)

Como podemos observar en la figura 1.6, si la concentración de gases de efecto invernadero aumenta, la radiación solar reflejada por la superficie de la Tierra y la propia energía emitida por la Tierra no serán reflejadas al exterior, más elevada será la proporción de energía absorbida en la atmósfera que contribuye al aumento de la temperatura global. Además, existen diferentes factores que contribuyen al cambio climático. **El vapor de agua**, ya que, si los gases de efecto invernadero no cesa, la temperatura global aumenta y los océanos se evaporarán. **Las nubes altas**, que se crean por la existencia de vapor de agua y bloquean la radiación saliente. **Liberación de gases de efecto invernadero** atrapados en reservas naturales como en los océanos (CO<sub>2</sub>) la tundra o el *permafrost* (metano). Finalmente, el **efecto albedo**. Se trata de la radiación reflejada por una superficie. Si las superficies que mayor reflejan la radiación, superficies claras como el hielo, se ven afectadas por el calentamiento derritiéndose, la absorción de radiación será mayor y contribuirá al aumento de las temperaturas.

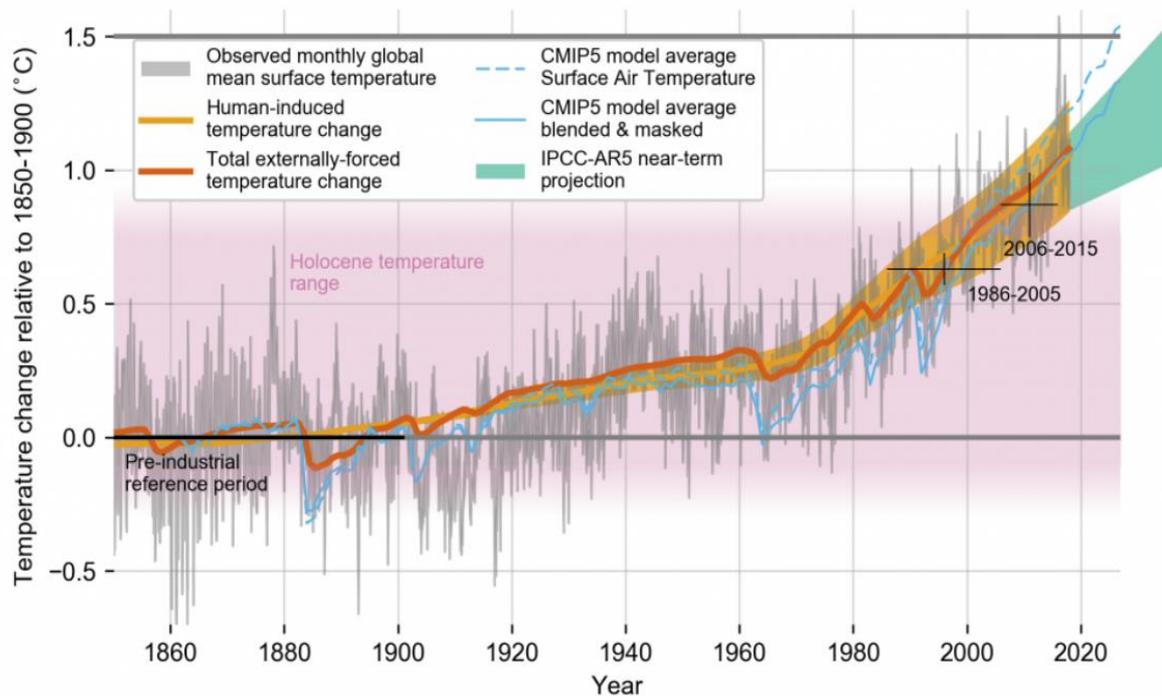


Figura 1.7: Evolución de la temperatura de la superficie (Fuente: IPCC)

La figura 1.7 muestra la evolución de la temperatura global en las últimas décadas con un aumento debido, sobretodo, a la acción humana. ¿Cómo se puede estabilizar este aumento? ¿Y si se prescindiera de los combustibles contaminantes sustituyéndolos por energías renovables?

Los gases de efecto invernadero con mayores emisiones son los mostrados en la siguiente tabla:

GHG	Pre-industrial	Actualidad	Fuerza radiativa ( $W/m^2$ )
CO2	280 ppm <sup>1</sup>	387 ppm	1.46
Metano	700 ppb	1745 ppb	0.48
NO2	270 ppb	314ppm	0.15
CFC-12	0	533ppt	0.17

Tabla 1.1: Gases de efecto invernadero (Fuente: IEA)

Se observa un claro aumento de los gases. El control o la moderación del aumento pasa, entre otras alternativas, por las energías renovables. A continuación, se explica de forma breve la situación de las energías renovables en el mundo y en España con especial atención en la energía fotovoltaica en nuestro país.

# Capítulo 2. Situación de las Energías Renovables

## 2.1 Contexto mundial

A pesar de los impactos de la pandemia del COVID-19, la energía renovable registró un record en cuanto a capacidad en el año 2020 y fue la única fuente de generación eléctrica en aumentar. Sin embargo, las políticas de apoyo a las renovables no aumentaron en muchos países y no consiguieron sus objetivos del 2020.

Durante la pandemia, las emisiones disminuyeron a causa de las restricciones en la movilidad y los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera disminuyeron en un 5,8% [3]. El nivel previo de emisiones fue alcanzado con el fin de la cuarentena.

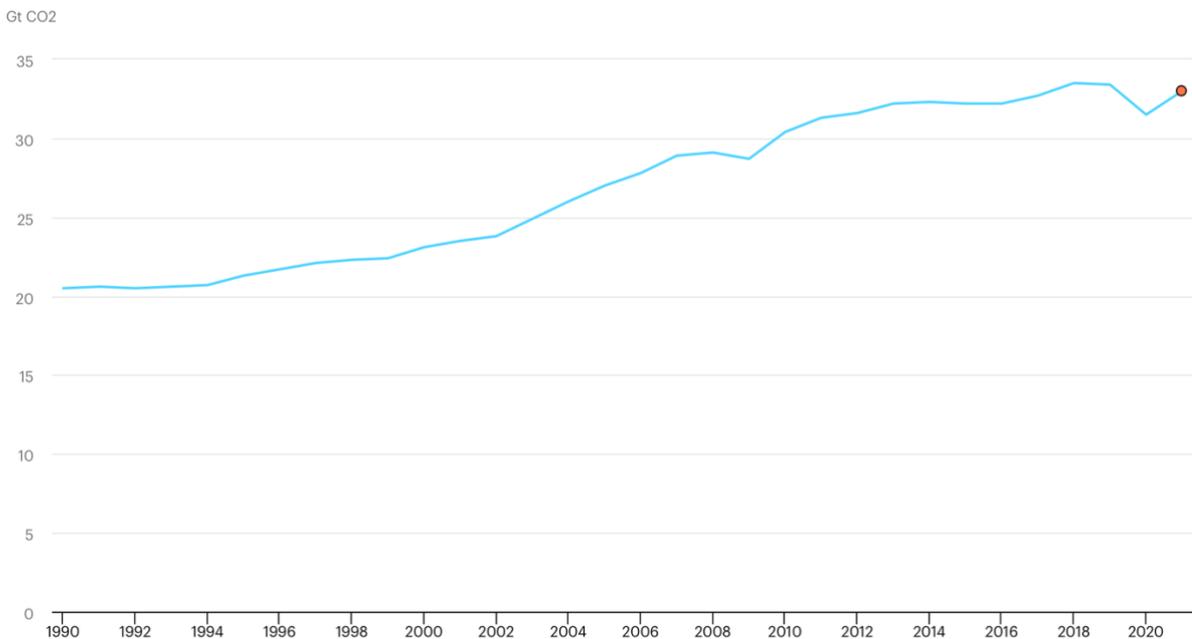


Figura 2.1: Emisiones de CO<sub>2</sub> (Fuente: IEA)

La producción de electricidad a partir de energías renovables es ya, hoy en día, más rentable que si proviene de plantas de carbón [4]. Sin embargo, la inversión en fuentes fósiles fue seis veces mayor que en renovables durante la recuperación de la pandemia a pesar de que las energías limpias se lleven el 60% de la inversión total.

La inversión global en capacidad de energía incrementó un 2% y se aumentaron en un 18% los contratos de compra de energía (PPAs: *power purchase agreements*). Mas de 256 GW de capacidad renovable fue añadida durante el 2020 superando el año anterior en un 30%.

		2019	2020
<b>INVESTMENT</b>			
New investment (annual) in renewable power and fuels <sup>1</sup>	billion USD	298.4	<b>303.5</b>
<b>POWER</b>			
Renewable power capacity (including hydropower)	GW	2,581	<b>2,838</b>
Renewable power capacity (not including hydropower)	GW	1,430	<b>1,668</b>
 Hydropower capacity <sup>2</sup>	GW	1,150	<b>1,170</b>
 Solar PV capacity <sup>3</sup>	GW	621	<b>760</b>
 Wind power capacity	GW	650	<b>743</b>
 Bio-power capacity	GW	137	<b>145</b>
 Geothermal power capacity	GW	14.0	<b>14.1</b>
 Concentrating solar thermal power (CSP) capacity	GW	6.1	<b>6.2</b>
 Ocean power capacity	GW	0.5	<b>0.5</b>
<b>HEAT</b>			
 Modern bio-heat demand (estimated) <sup>4</sup>	EJ	13.7	<b>13.9</b>
 Solar hot water demand (estimated) <sup>5</sup>	EJ	1.5	<b>1.5</b>
 Geothermal direct-use heat demand (estimated) <sup>6</sup>	PJ	421	<b>462</b>

Figura 2.2: Inversión global anual en energías renovables (Fuente: REN21 y BloombergNEF)

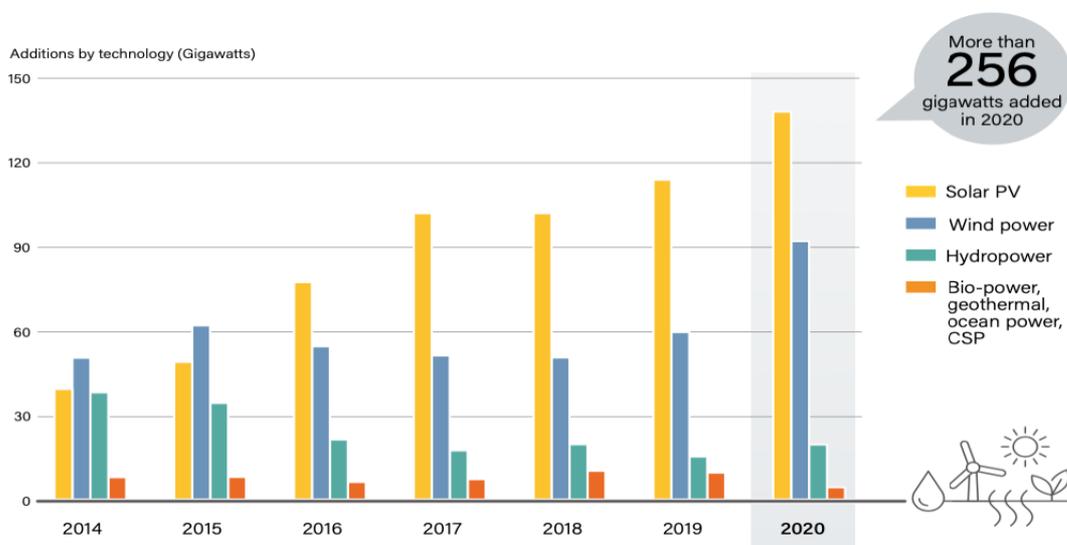


Figura 2.3: Capacidad de energías renovables, por tecnología, añadida (Fuente: REN21)

No sólo estos incrementos son esperanzadores. La previsión de la capacidad de electricidad renovable para el 2026 se prevé que aumente en un 60% y alcanzaría más de 4800 GW, lo que equivale a la capacidad actual de combustibles fósiles y energía nuclear. China permanece como el país líder con el 43% del crecimiento de la energía renovable seguido por Europa, EE. UU. e India. El crecimiento que se espera es de 305 GW globales anuales hasta el 2026 [5].

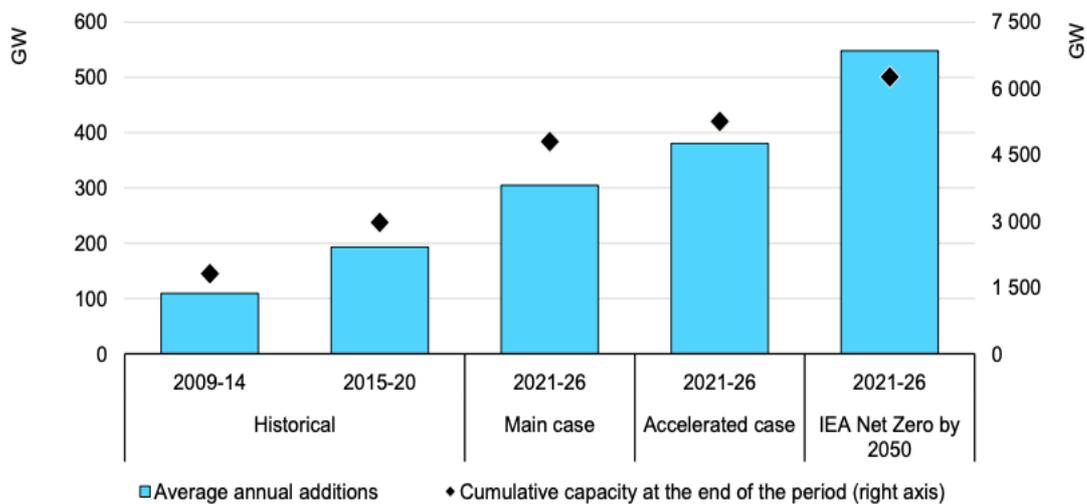


Figura 2.4: Capacidad anual añadida y capacidad total acumulada a final de año (Fuente: IEA)

Los objetivos establecidos por los países son más tangibles si se aplican políticas de apoyo a las renovables a través de, por ejemplo, subsidios para fomentar la innovación con la finalidad de descarbonizar los sectores de la industria y el transporte. Asimismo, estas políticas favorecen el acceso a costes más asequibles y permisos menos difíciles de obtener. En oposición, el número de países con políticas de apoyo a las renovables no aumentó en 2020 y las financiaciones de bancos privados a proyectos de combustibles fósiles ha incrementado anualmente entre 2016 y 2019 desde el Acuerdo de París de 2015 [6].

En la figura 2.4, el caso acelerado se trata de un estudio donde las políticas a las renovables son muy favorables con préstamos y donaciones para invertir en ellas, así como el atractivo crecimiento de autoconsumo para instalaciones fotovoltaicas distribuidas [7].

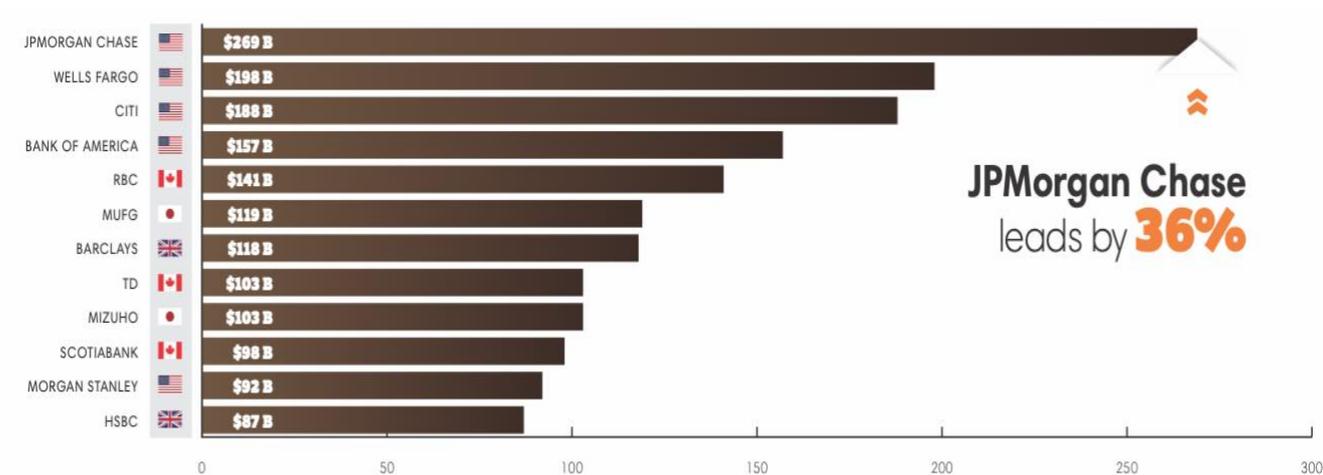


Figura 2.5: Financiación de los bancos a los combustibles fósiles (Fuente: Rainforest Action Network)

BANK	2016	2017	2018	2019	TOTAL
SANTANDER	\$6.301 B	\$5.335 B	\$5.123 B	\$8.977 B	\$25.736 B
BBVA	\$4.741 B	\$3.368 B	\$4.551 B	\$4.792 B	\$17.452 B

Figura 2.6: Financiación de bancos españoles a los combustibles fósiles (Fuente: RAN)

¿Cuáles son los países líderes en capacidad instalada y demanda energética?

Total Power Capacity or Demand / Output as of End-2020

	1	2	3	4	5
<b>POWER</b>					
Renewable power capacity (including hydropower)	China	United States	Brazil	India	Germany
Renewable power capacity (not including hydropower)	China	United States	Germany	India	Japan
Renewable power capacity per capita (not including hydropower) <sup>1</sup>	Iceland	Denmark	Sweden	Germany	Australia
🌿 Bio-power capacity	China	Brazil	United States	Germany	India
🌋 Geothermal power capacity	United States	Indonesia	Philippines	Turkey	New Zealand
💧 Hydropower capacity <sup>2</sup>	China	Brazil	Canada	United States	Russian Federation
☀️ Solar PV capacity	China	United States	Japan	Germany	India
☀️ Concentrating solar thermal power (CSP) capacity	Spain	United States	China	Morocco	South Africa
🌬️ Wind power capacity	China	United States	Germany	India	Spain
<b>HEAT</b>					
🏠 Modern bio-heat demand in buildings	United States	Germany	France	Italy	Sweden
🏭 Modern bio-heat demand in industry	Brazil	India	United States	Finland	Sweden
☀️ Solar water heating collector capacity <sup>2</sup>	China	Turkey	India	Brazil	United States
🌋 Geothermal heat output <sup>3</sup>	China	Turkey	Iceland	Japan	New Zealand

Figura 2.7: Capacidad total o demanda por países; datos del final de 2020 (Fuente: REN21)

Llama la atención China que se encuentra a la cabeza de casi todas las energías renovables en cuanto a capacidad total instalada o demanda. Respecto al final de 2020, España sigue manteniéndose líder de la energía solar térmica concentrada (CSP). Por otra parte, resalta que España, a pesar de tener de las mayores horas de luz y radiación de Europa, no se encuentre en el top 5 en la energía solar fotovoltaica y sí se encuentre Alemania, la cual recibe mucha menos radiación solar.

La demanda energética crece continuamente. El ser humano cada vez tiene y necesita más. Esto se traduce en un mayor consumo de energía final, sin embargo, aproximadamente el 25% del incremento energético viene de las energías renovables y el 75% restante se lo atribuyen los combustibles fósiles, la energía nuclear y la biomasa tradicional.

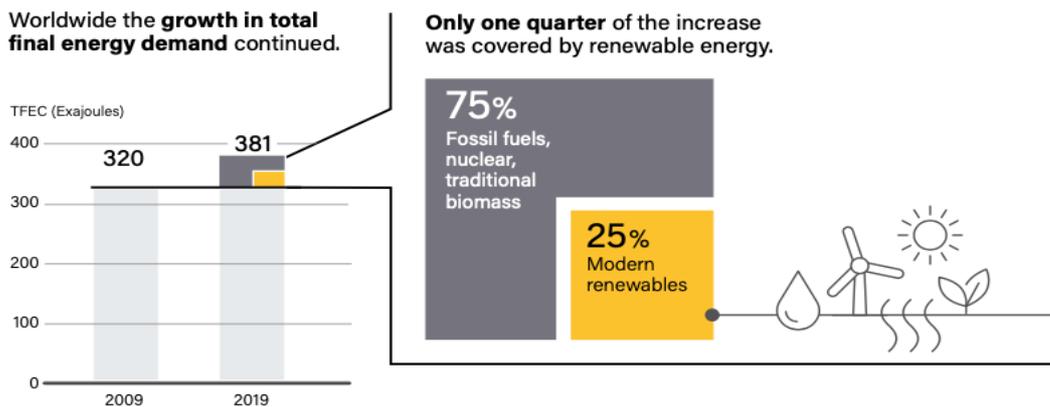


Figura 2.8: Aumento de la energía final demandada (Fuente: REN21 basado en datos de la IEA)

El sector que más energía demanda es el termal (calefacción), seguido del transporte y por último la electricidad. Los países que más energía demanda son China, EE. UU, la Unión Europea e India.

¿Cuál de estos sectores hace menor uso de energía renovable? Se trata del transporte. Las restricciones a causa del COVID-19 se tradujeron, para el sector, en una caída del 60% del tráfico aéreo, una caída de la demanda ferroviaria del 30% y una disminución del 4% del comercio marítimo [8]. A pesar de que las ventas de vehículos eléctricos se incrementaron en un 41% durante el 2020, el transporte por carretera sigue representando el mayor consumo del sector. La gran mayoría, el 95,8% de la energía para el sector del transporte proviene de productos relacionados con los aceites y el petróleo y tan solo el 3,1% y el 0,3% lo

representan los biocombustibles y la energía renovable respectivamente [9].

Estrategias adoptadas por los países en forma de políticas y objetivos sitúan al coche eléctrico como una estrategia evolutiva a lo largo de los próximos años para decrementar la energía demandada asociada a la emisión de gases de efecto invernadero. Cerca de tres cuartas partes, el 74% de las emisiones del transporte proceden de vehículos por carretera, 12% de la aviación, 11% marítimo y 1% ferroviario. Aumentando la presencia del vehículo eléctrico se facilitaría el uso de las energías renovables como la solar fotovoltaica y la eólica con el objetivo de electrificar el transporte por carretera [10].

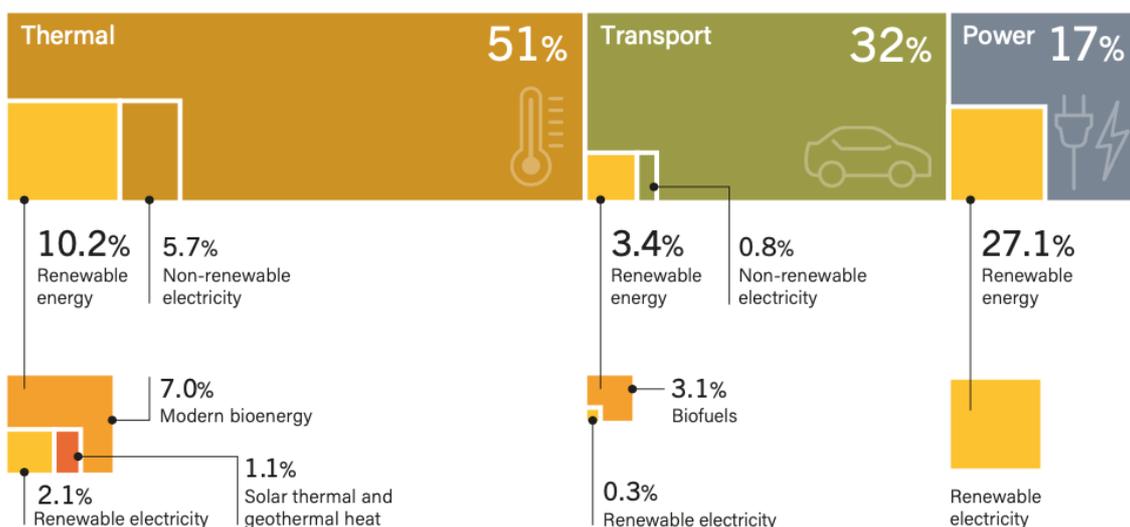


Figura 2.9: Consumo final de energía por sector (Fuente: REN21)

## 2.2 Energía solar FV: actualidad mundial

La solar fotovoltaica volvió a batir un record con nuevas instalaciones alcanzando la cifra de 139GW. Incluyendo capacidades conectadas a la red e independientes, el 2020 terminó con 760GW de capacidad total global.

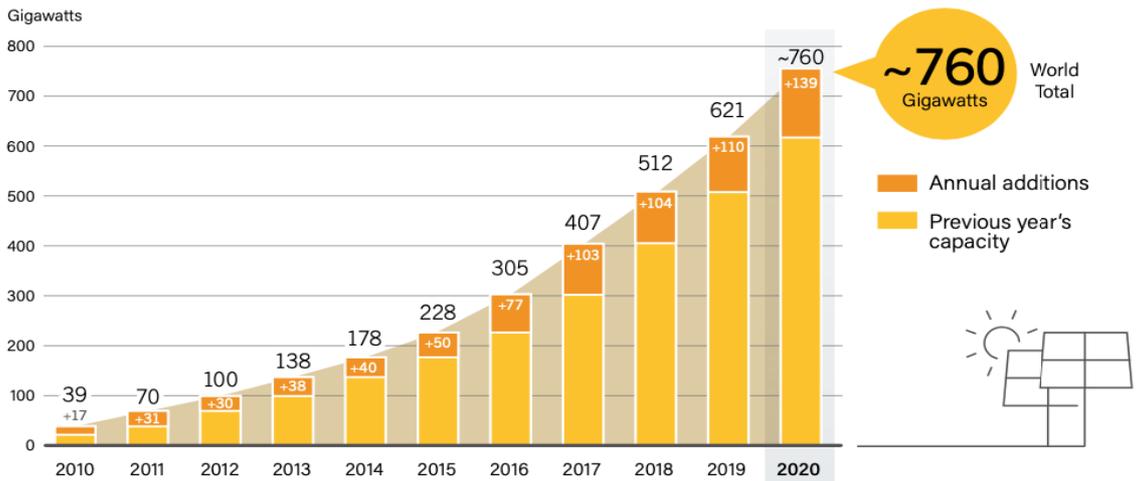


Figura 2.10: Capacidad solar FV global y capacidad añadida (Fuente: REN21)

La demanda por la solar FV se está expandiendo y se convierte en la opción más competitiva para generar electricidad en numerosos emplazamientos como las construcciones, viviendas o fábricas, y proyectos a gran escala. El autoconsumo continúa representando un aumento importante en el mercado y a finales del 2020, al menos 15 países eran capaces de satisfacer el 5% de su demanda eléctrica a partir de la solar FV.

Desde años atrás, el continente asiático viene apostando fuerte por las renovables. Se le atribuye el 58% de las nuevas instalaciones globales excluyendo a China, que es responsable del 23% de nueva capacidad en el 2020. En la lista le siguen el continente americano (18%) que se posiciona por delante de Europa (16%) [11].

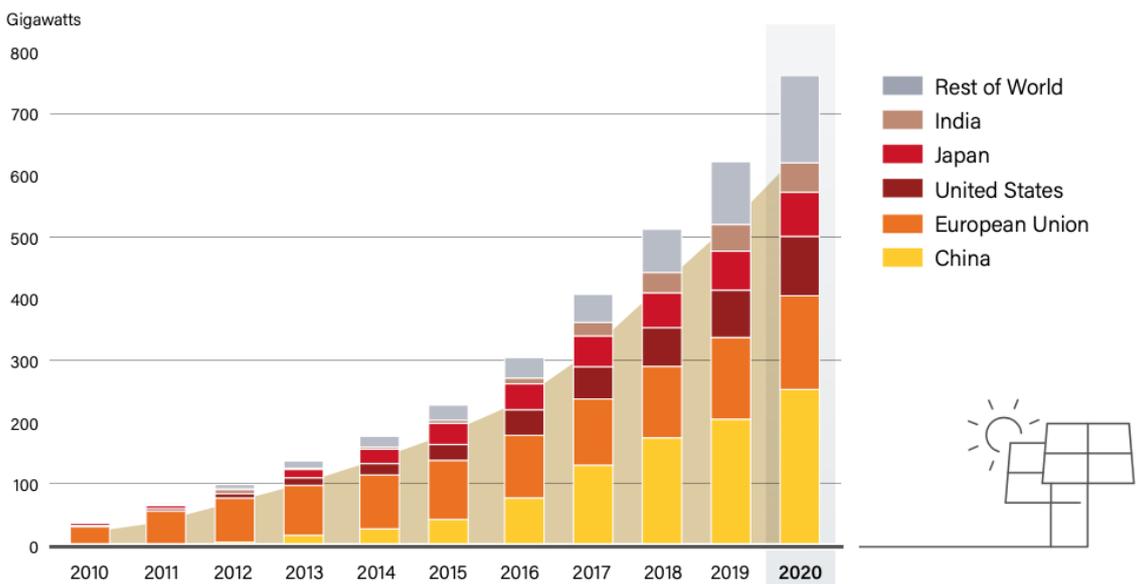


Figura 2.11: Capacidad solar FV global por países y regiones (Fuente: REN21)

Ya conocemos que China es el país líder en capacidad total instalada y capacidad añadida anualmente. El continente americano y, en especial, mencionando a EE. UU, el país ha experimentado un importante salto debido a la activación de inversores en busca de créditos otorgados por el gobierno central [12]. Además, iniciativas por parte del mismo gobierno para facilitar las instalaciones en el mercado residencial con baterías debido a los apagones eléctricos que se producen, por ejemplo, en la zona de California debido a los incendios [13]. En Europa, los países líderes por su capacidad total son Alemania, Italia, España, Francia y Países Bajos. La toma de conciencia y sensibilización de la población del viejo continente se ha visto recompensada con el doble de instalaciones en las viviendas y una capacidad añadida total al final del año de 162,7GW.

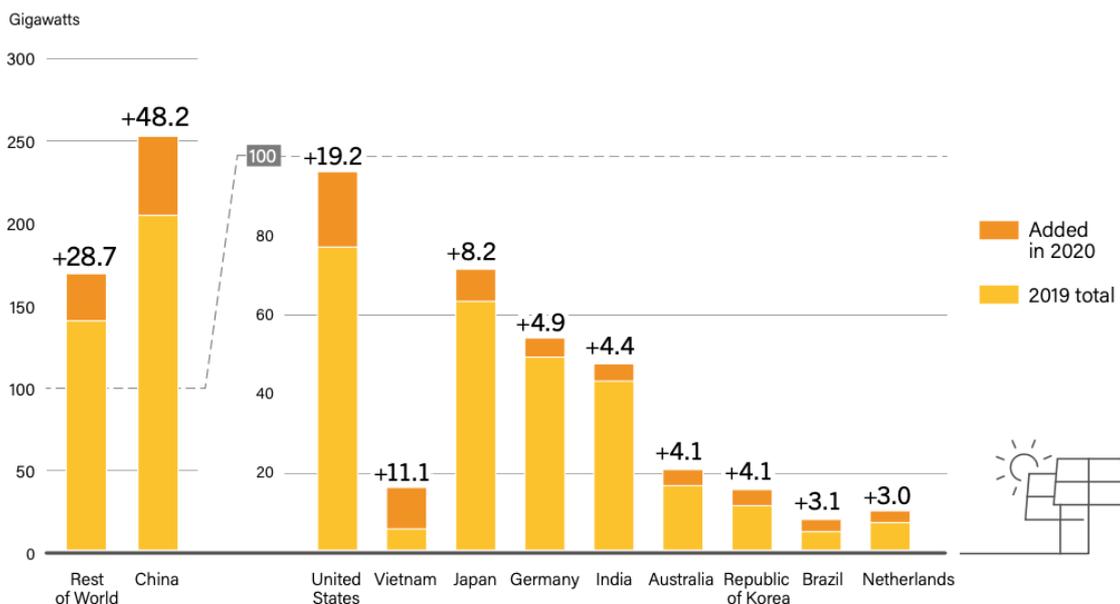


Figura 2.12: Top 10 países de capacidad total y añadida (Fuente: REN21)

La región de Xinjiang, en China, con productores atraídos por los bajos costes de mano de obra y energía, produce más del 45% del polisilicio el mundo. Esta situación pone de manifiesto la dependencia de la industria de un número relativamente pequeño de fabricantes ubicados en una única región. La Unión Europea insiste en mejorar su posición en la cadena de suministro de la industria solar, ¿por qué?

Generalmente, el aumento de la escala de producción de un determinado sector da lugar a la reducción en el coste unitario del

producto final de manera que los gobiernos tratan de emplear una política comercial para recuperar cierto control sobre el suministro y el precio de los productos. Competir con una región cuya mano de obra es muy atractiva, y una buena parte de empresas del sector están ubicadas en dicho emplazamiento, es un escenario difícil que se trata de regular (manteniendo los aranceles, por ejemplo).

En la solar fotovoltaica, el LCOE (*levelized cost of energy*/coste normalizado de la energía) es un parámetro que permite la comparación directa con diferentes tecnologías y que mide los costes asociados a una determinada planta de generación divididos entre la producción de energía total. Sus unidades son \$/Wh [14].

La cadena de valor de la fabricación de los módulos fotovoltaicos tiene valores añadidos en marketing, distribución, gestión, etc. Sin embargo, el mayor valor añadido viene del I+D y el diseño. Por lo tanto, las empresas tienen interés en posicionarse adecuadamente en este punto para reducir los riesgos y costes de financiación. Para la UE esto

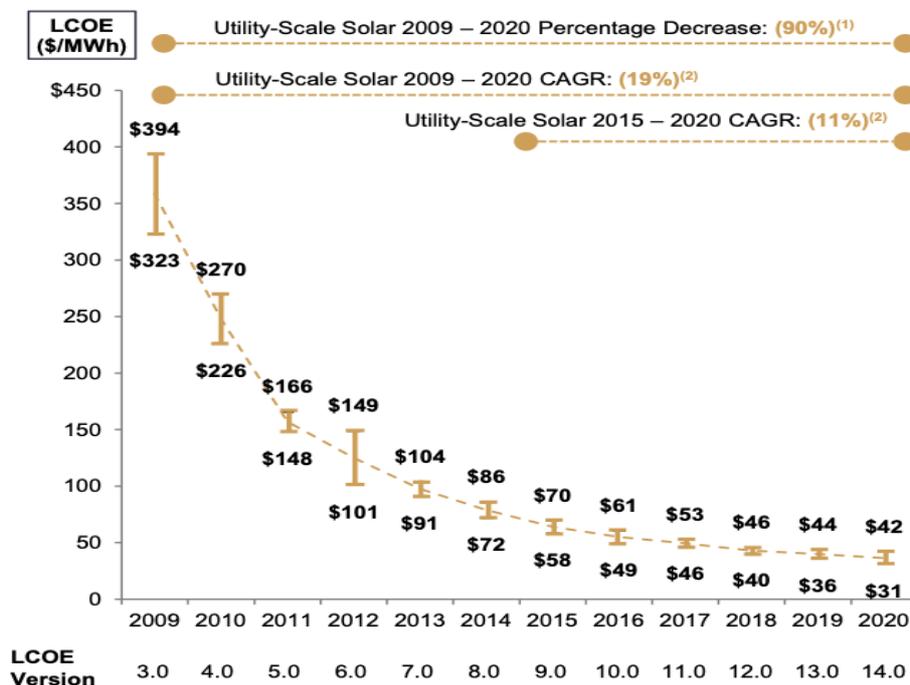


Figura 2.13: LCOE de la FV solar (Fuente: LAZARD)

requerirá centrarse en la especialización de productos de alto rendimiento ya que los 10 principales productores de células y módulos fotovoltaicos se encuentran en Asia [15].

## 2.3 Energías Renovables: actualidad en España

La combinación de las diferentes energías renovables representa el 44% de la generación total de energía. Más de la mitad de la potencia instalada se corresponde con energías limpias. La energía eólica lidera este ámbito seguido de la hidráulica y la fotovoltaica. Es esta última, la principal responsable del voluminoso aumento de la nueva potencia instalada, aportando un 61,3%.

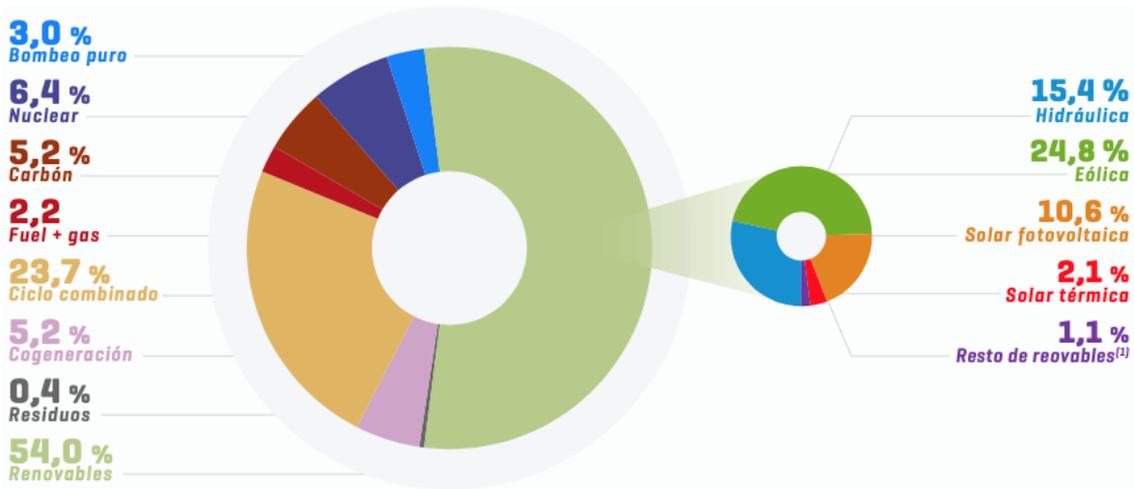


Figura 2.14: Estructura de la potencia instalada (Fuente: REE)

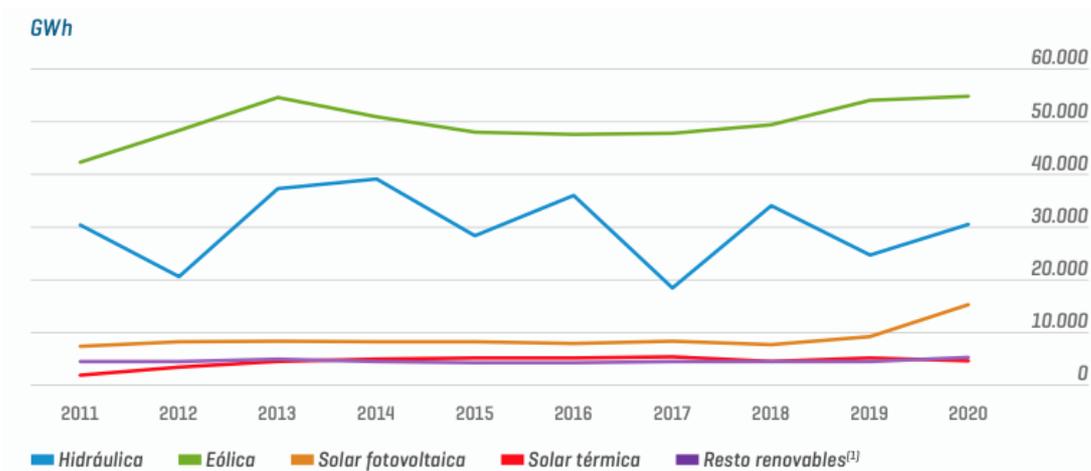


Figura 3.4: Evolución de la generación renovable (Fuente: REE - 2020)

Sin embargo, en los últimos años y principalmente en el 2020, la energía solar fotovoltaica ha desarrollado un mayor incremento tanto en potencia instalada como en energía producida. La figura 3.4 muestra la evolución de la generación renovable. La eólica sigue siendo la

tecnología renovable más importante a nivel nacional. La producción de origen eólico sigue creciendo consecutivamente desde hace cuatro años alcanzando un récord. En total se han generado 54899 GWh [16].

Por otra parte, destacan las fluctuaciones de generación en la hidráulica. ¿Por qué tantas diferencias de producción entre años para esta tecnología? La ventaja de las renovables es que los recursos son infinitos, sin embargo, no son constantes. Los cambios abruptos que se observan en la hidráulica se deben a que unos años son más secos que otros, especialmente el 2017 cuya frecuencia de lluvias fue escasa [17].

Las instalaciones solares FV han incrementado su potencia nacional alcanzando un récord que suponen 15289 GWh. Este aumento exponencial de los últimos años se debe, principalmente, a la instalación de potencia en las comunidades de Extremadura y Andalucía.

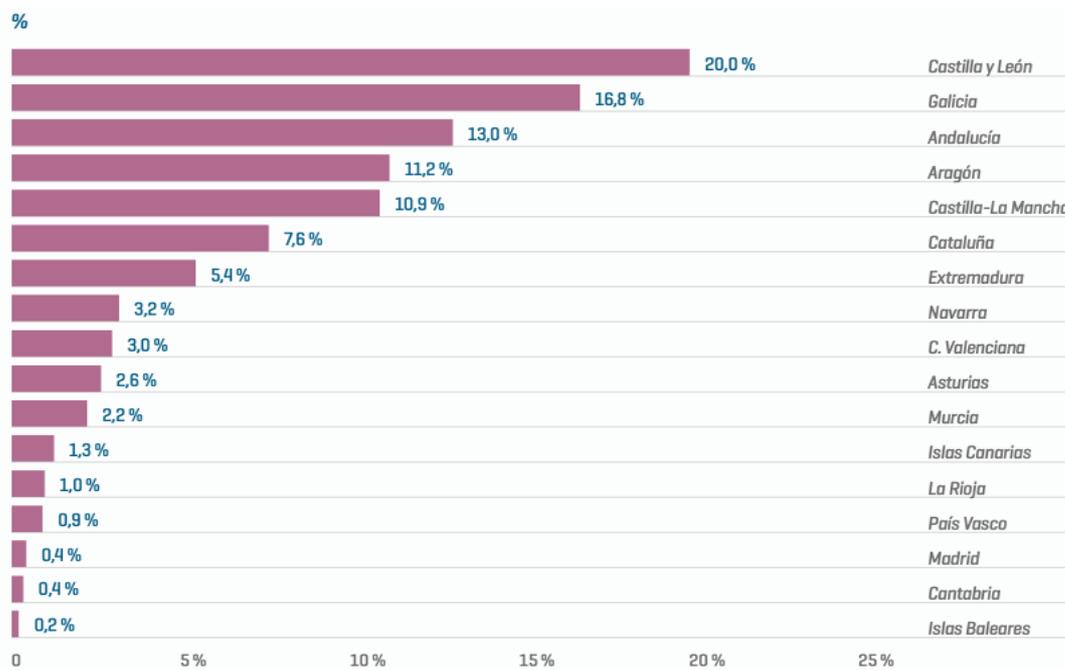


Figura 2.15: Participación de la generación renovable por comunidades (Fuente: REE - 2020)

Si hacemos un breve repaso cronológico sobre la solar FV, vemos que España pierde, a partir del 2009, la segunda posición mundial de potencia FV instalada.

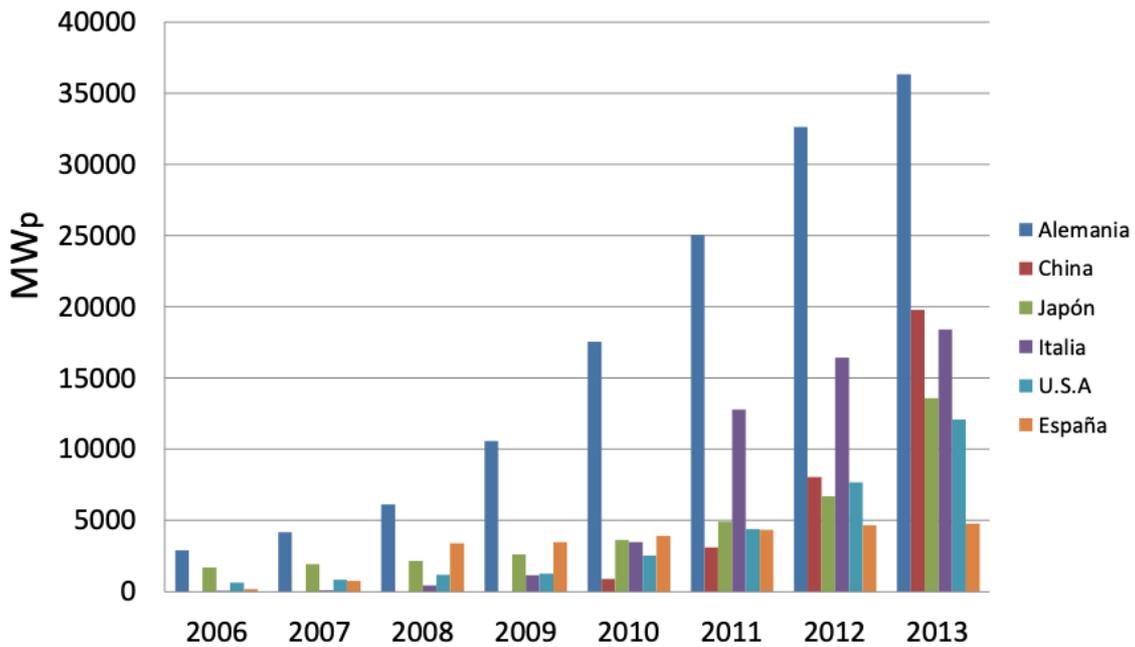


Figura 2.16: Cronología mundial de la potencia solar FV instalada (Fuente: apuntes máster EERR, J. Mirapeix)

¿Por qué se produjo este cambio de tendencia? En el año 2007, el Gobierno aprobó el Real Decreto 661/2007, que estableció un marco retributivo para favorecer la rentabilidad de las renovables y favorecer su expansión [18]. Las conocidas como primas a las renovables. Al año siguiente se aprobó el Real Decreto 1578/2008, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar FV [19].

Solamente tres años más tarde, se comenzaron a aplicar recortes a las primas (crisis del 2008) y diferentes reformas. Finalmente, se anunció el fin de las compensaciones a las instalaciones de energía renovable posteriores a 2012.

Hasta el año 2009, España supo ser líder en energía fotovoltaica. Sin embargo, algunas regulaciones impidieron que esto siguiera por el mismo camino.

## 2.4 Energía solar FV: actualidad en España

La crisis del 2008 y el fin de las compensaciones a las instalaciones de energía renovable posteriores a 2012 estancó el desarrollo de la fotovoltaica en España.



Figura 2.17: evolución de la generación solar fotovoltaica en España [GWh] (Fuente: REE 2020)

La capacidad fotovoltaica española creció aproximadamente 4 GW entre 2007 y 2012. Más tarde, durante los siguientes años hasta el 2018 inclusive, las tasas de potencia instalada y de generación tuvieron un crecimiento prácticamente nulo.

Sin embargo, a partir del 2019 esta tendencia paralizada cambia radicalmente, ¿por qué? En la figura 3.7 se observa el aumento exponencial a partir del año 2019. La generación solar fotovoltaica crece debido a la adjudicación por subastas, de más potencia solar, lo que supone un impulso al sector y un aumento histórico en la capacidad solar fotovoltaica instalada cerrando el 2020 como la tercera fuente de generación eléctrica en España con 14018 MW. Supone un aumento de generación solar respecto al 2019 de aproximadamente el 40 % [20].

Además, la energía fotovoltaica de autoconsumo muestra un significativo aumento en 2019 de 300 MW a 400 MW según la UNEF. Por lo tanto, gracias a la adjudicación de potencia en subastas a empresas nacionales y a la aprobación del Real Decreto-ley 15/2018 (RDL 15/2018) que

implica una simplificación en los trámites burocráticos para pequeñas instalaciones de hasta 100 kW y el derecho al autoconsumo sin costes ni peajes, la fotovoltaica en España se reactivó [21].

## Capítulo 3. Elementos de una Instalación Solar FV

Todo tipo de instalación consta de distintas zonas, etapas o elementos que desempeñan papeles diferentes.

### 3.1 Generador Fotovoltaico

Constituido por uno o más paneles fotovoltaicos. Cada panel está formado por la interconexión de células fotovoltaicas cuya función es generar corriente eléctrica cuando reciben radiación electromagnética de unas características determinadas [22].



Figura 3.1: Panel fotovoltaico

Para comprender los paneles fotovoltaicos, será necesario, de forma breve y clara, explicar la formación y funcionamiento de la célula fotovoltaica.

### 3.1.1 Unión PN y efecto fotoeléctrico

Cada célula fotovoltaica está formada por la unión de dos semiconductores, la famosa unión PN. Se trata de crear, a partir de una base de Silicio (Si), una parte p con menos electrones que el átomo de Si y otra parte n con más electrones que átomos de Si. Al juntar ambas partes, los “huecos” que hay por la falta de electrones de la parte p y los electrones en exceso de la parte n, viajan en direcciones opuestas para neutralizarse entre sí. Debido a este proceso se crea una diferencia de potencial que impide la difusión de las cargas.

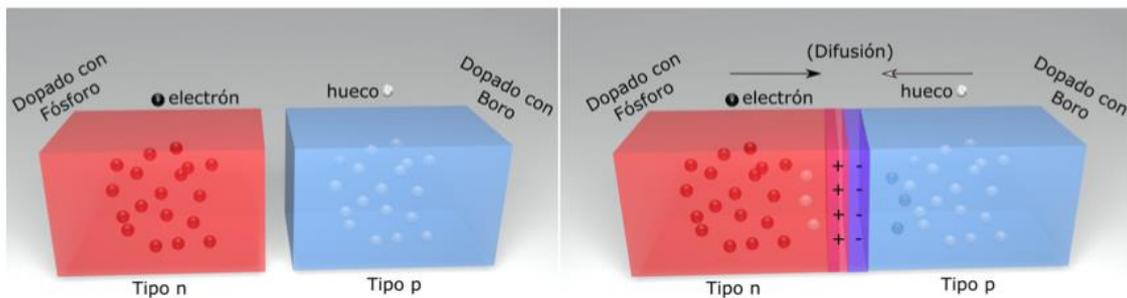


Figura 3.2: Creación de la unión PN (Fuente: Apuntes máster EERR, J. Mirapeix)

Una vez creada la unión PN, la electricidad se generará cuando se liberen electrones de los átomos del metal. La liberación de electrones de los átomos de un metal cuando sobre éste, incide una radiación electromagnética, se conoce como el efecto fotoeléctrico.

De forma breve y sencilla, el efecto fotoeléctrico podría explicarse de la siguiente manera: cuando los fotones procedentes de una fuente luminosa inciden sobre el metal, y cuyas características energéticas son las adecuadas, se liberarán electrones de la capa de valencia (última capa del átomo) dando lugar a un par electrón libre-hueco. Colocando contactos eléctricos en los extremos, el electrón podrá viajar atraído por la parte p y recombinándose con el hueco [23].

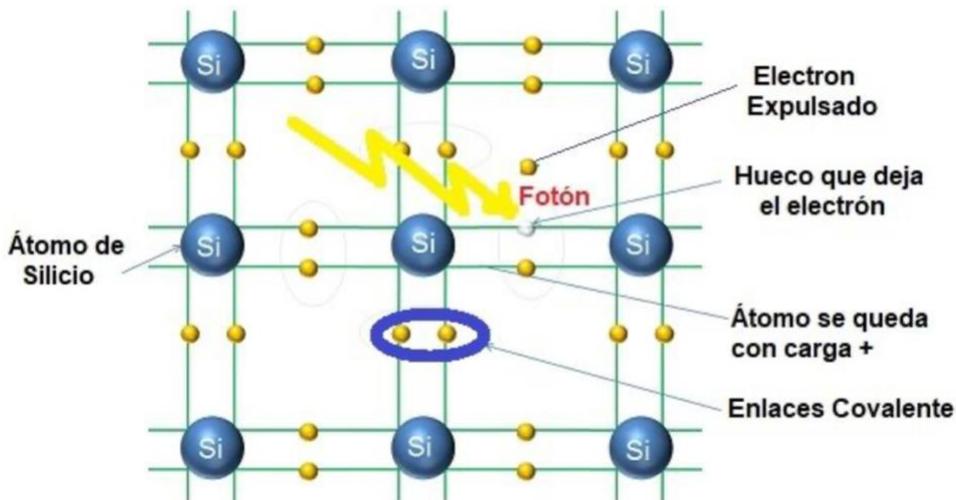


Figura 3.3: par electrón libre-hueco (Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/efecto-fotovoltaico.html>)

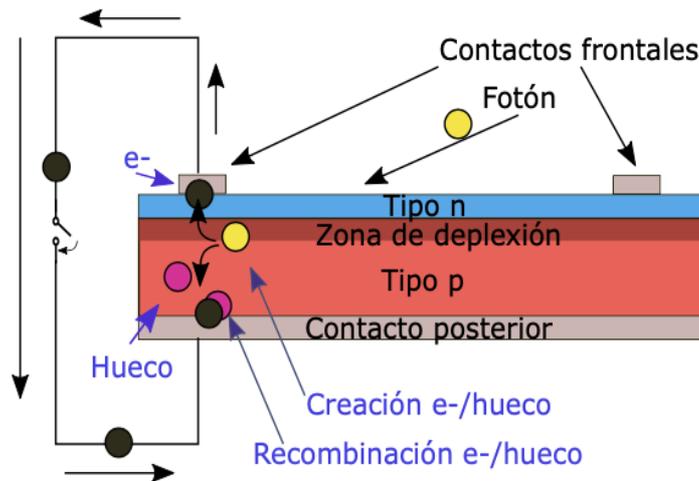


Figura 3.4: célula FV (Fuente: apuntes máster EERR, J. Mirapeix)

### 3.1.2 El panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico está formado por células fotovoltaicas que se conectan en serie o en paralelo. Su funcionamiento viene definido por las curvas características I-V y P-V que recogen los posibles puntos de trabajo bajo ciertas condiciones de irradiancia y temperatura.

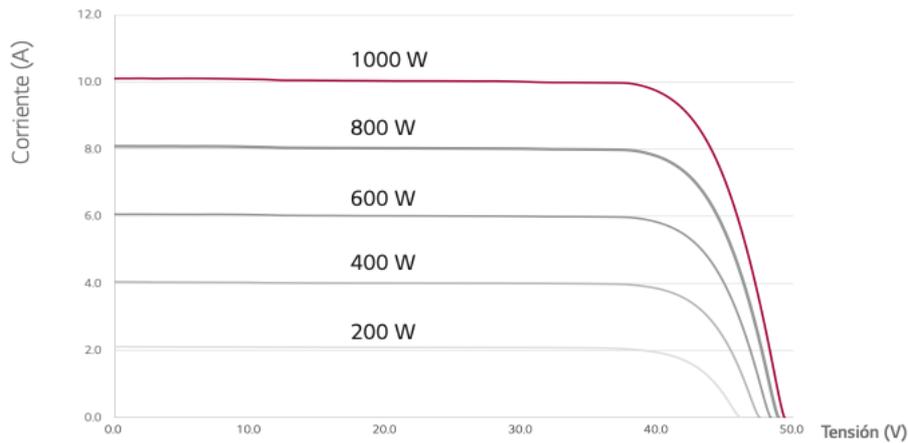


Figura 3.5: ejemplo curva I-V, de los paneles solares utilizados, dependiendo de la irradiación

### 3.1.3 Tecnología bifacial

Una tecnología que se abre paso a través de una mayor eficiencia energética que en la tecnología utilizada en los paneles solares convencionales. Esta tecnología bifacial, formada por células de silicio monocristalino o policristalino, tiene la capacidad de captar la radiación solar por la cara superior y posterior del panel. A diferencia de los paneles solares más conocidas, que tan solo captan luz solar por la cara superior ya que la cara posterior es opaca.



Figura 3.6: paneles solares bifaciales

De manera lógica pensamos que, al tener dos caras en un panel que captan radiación solar, la producción de energía será mayor que si sólo

tenemos una cara produciendo. Pero ¿por qué la tecnología bifacial maximiza dicha producción?

Para responder a la pregunta anterior, la siguiente imagen muestra un esquema de la radiación que reciben los paneles bifaciales.

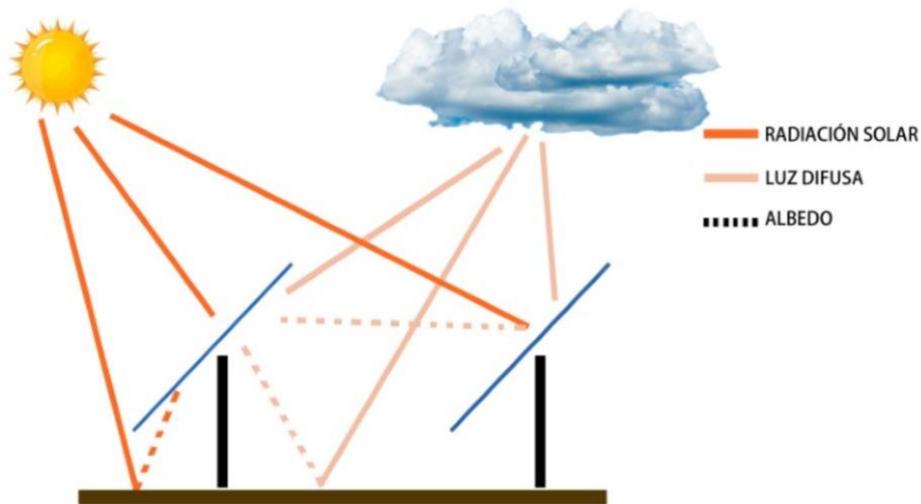


Figura 3.7: tipos de radiación sobre el panel

El avance de esta tecnología consiste en que la cara posterior del panel es capaz de aprovechar la luz reflejada por todo tipo de superficies, es decir, luz reflejada por la cara frontal de un panel que se encuentre instalado por detrás y, luz reflejada por la superficie sobre la que el panel se encuentra instalado. Dicha cantidad de radiación reflejada por las superficies se conoce como el albedo. La radiación difusa se trata de la propia radiación proveniente del sol y que ha sufrido distorsión por elementos que se encuentran en la atmósfera.

### 3.1.3.1 El albedo

Albedo es una palabra proveniente del latín y que significa ‘blancura’. Su definición por la RAE y en el ámbito de la física es la siguiente: proporción existente entre la energía luminosa que incide en una superficie y la que se refleja.

Dicha definición nos hace pensar, ¿todas las superficies reflejan lo mismo? La respuesta es no, no todas reflejan la misma cantidad de energía luminosa.

El albedo se mide con una variable comprendida entre 0, que significa que la superficie no refleja nada de radiación, y 1, que indica que la superficie refleja la misma radiación que incide en ella.

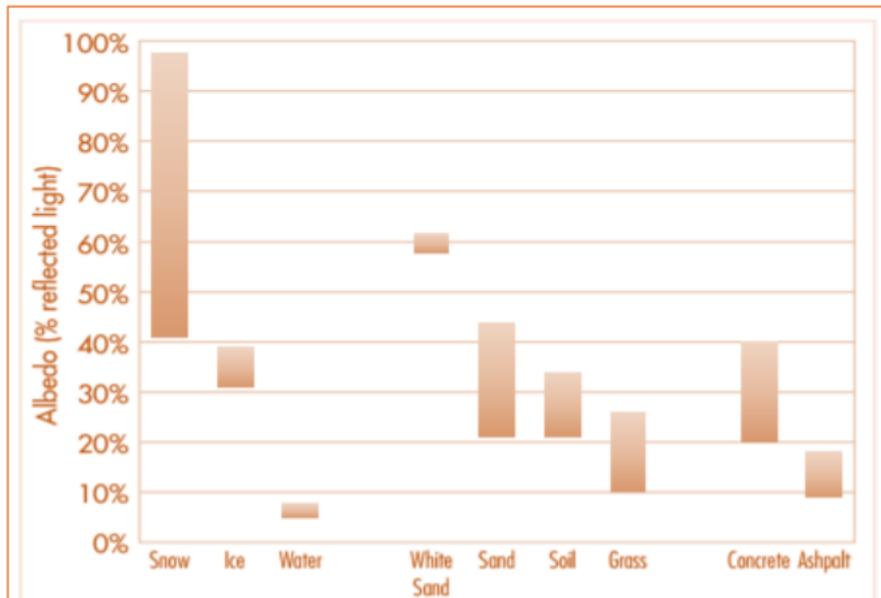


Figura 3.8: valores del albedo según las superficies (Fuente: NREL)

Por lo tanto, la figura 3.8 indica que, instalaciones fotovoltaicas bifaciales serán más eficientes o producirán más energía, si la superficie que refleja la radiación incidente es nieve, arena (o superficies de colores claros, en especial el blanco) frente a superficies como el asfalto o colores oscuros.

### 3.1.3.2 Parámetros de los módulos bifaciales

Para caracterizar los módulos bifaciales, se introducen también, dos nuevos parámetros, conocido como **factor de bifacialidad (bifaciality factor)**, que relaciona la respuesta frontal y posterior de las células. Por lo tanto, este factor se define como el cociente entre la eficiencia de conversión de potencia cuando la luz entra por la cara posterior y cuando entra por la cara superior [24]. El factor de bifacialidad para la densidad

de corriente de cortocircuito, la tensión en circuito abierto, la potencia y la eficiencia se expresa en las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

$$\varphi J_{SC} = J_{SC_r} / J_{SC_f} \quad (1)$$

$$\varphi V_{OC} = J_{SC_r} / J_{SC_f} \quad (2)$$

$$\varphi P_{max} = P_{max_r} / P_{max_f} \quad (3)$$

$$\varphi eta = \varphi eta_r / \varphi eta_f \quad (4)$$

**NOTA:** *r* (rear) es la cara posterior del panel mientras que *f* (front) se refiere a la cara frontal.

El otro parámetro clave de los módulos bifaciales es la **ganancia bifacial BG (bifacial gain)**, que determina el rendimiento entre tecnologías de módulos bifaciales y monofaciales a través de su producción anual de energía.

$$BG = 100 * \frac{Y_b - Y_m}{Y_m} \quad (5)$$

**NOTA:**  $Y_m$  representa la producción anual de un panel monofacial mientras que  $Y_b$  la de un panel bifacial.

## 3.2 Regulador de carga

Se trata de un dispositivo que controla y gestiona el estado de las baterías de la instalación y el flujo de la energía. Evita problemas como la sobrecarga y demasiada profundidad de descarga.

Los principales parámetros que definen al regulador son la tensión de trabajo, que se corresponde con la tensión del generador fotovoltaico. La intensidad máxima de entrada, que viene dada por la corriente que suministran los módulos fotovoltaicos y la intensidad máxima de salida.

### 3.3 Baterías o sistema de acumulación

Dispositivos que almacenan energía eléctrica con el objetivo de asegurar el suministro en momentos en los que la energía producida por los paneles sea insuficiente o nula.

Los datos importantes que se deben tener en cuenta sobre las baterías son la capacidad, la autonomía y la profundidad de descarga.

- La capacidad  $C_n$ , que se expresa en Amperios/Hora (Ah), indica la energía que se puede almacenar en la batería.
- La autonomía se trata del tiempo en que la instalación puede funcionar sólo con la energía almacenada en las baterías. Se expresa en días.
- La profundidad de descarga es un parámetro que indica la cantidad de energía que se podrá utilizar sin que se vea deteriorado el funcionamiento de la batería.

¿Por qué se requiere de un sistema de acumulación? Para ininterrumpir el suministro eléctrico. Nos permitirá evitar situaciones de falta de abastecimiento por parte del generador fotovoltaico debido a la climatología adversa o condiciones insuficientes. Además, permite el almacenaje del exceso de electricidad producida, en caso de que ocurriera, en días de abundante producción.

Por lo tanto, el sistema de acumulación tiene un doble propósito: almacenar el exceso de electricidad producido respecto a la demanda y,

el suministro de dicha acumulación en situaciones donde la demanda supere a la producción.

### **3.4 Inversor**

Dispositivo que se encarga de convertir la energía, en forma de corriente continua suministrada por los paneles, en corriente alterna para el consumo de los aparatos eléctricos en cuestión.

La tensión de entrada del inversor será la de la instalación, es decir, la entregada por el generador fotovoltaico y la de salida serán los 230V de la red eléctrica doméstica.

### **3.5 Cableado**

Los dispositivos de la instalación fotovoltaica se conectan entre sí a través de un sistema de cableado. Ya que la instalación tendrá una parte de corriente continua y otra de alterna, el dimensionamiento para los conductores de dichas secciones se hará contemplando diferentes características. Además, ya que la instalación del cableado queda al aire, deben de estar diseñado para soportar las condiciones climatológicas.

### **3.6 Protecciones**

Necesarias en:

- Corriente alterna para evitar sobrecargas, actuar contra cortocircuitos y poder realizar desconexiones manuales y proteger a las personas en casa de derivación de algún elemento.
- Corriente continua, como los fusibles y portafusibles, protegiendo de sobreintensidades.

## Capítulo 4. Solución propuesta

En este capítulo se detallarán los cálculos necesarios para poder llevar a cabo una instalación fotovoltaica bifacial para el autoconsumo aislado de una vivienda unifamiliar en una zona rural. Los cálculos permitirán unas prestaciones adecuadas de manera que no se sobrepasen las necesidades de consumo ni, por el contrario, sean escasas.

### 4.1 Emplazamiento

El emplazamiento escogido se trata de una vivienda unifamiliar. Se encuentra en la comunidad Cántabra y concretamente en la localidad de San Salvador (Medio Cudeyo), Barrio Laso.

La vivienda cuenta con un terreno propio, sin edificios ni casas alrededor por lo que no está condicionada por sombras en los paneles y, de hierba natural. La superficie escogida para la instalación tiene unas dimensiones aproximadas de 30x6 metros cuadrados. Además, para aprovechar la tecnología bifacial, los paneles se colocan en un “huerto solar” y no en un tejado para que la cara posterior de los módulos reciba radiación y funcione adecuadamente.

La latitud es de 43,389 a una elevación de 52 metros sobre el nivel del mar.



Figura 4.1: Localización de la instalación (Fuente Google Maps y Google Earth)



Figura 4.2: localización de la instalación (Fuente: Google Maps y Google Earth)

## 4.2 Ángulo de inclinación y orientación

¿Por qué los paneles se disponen con un cierto ángulo de inclinación? En primer lugar, dicho ángulo sirve para que los rayos del sol incidan en el panel de forma perpendicular y, por tanto, maximizar la radiación capturada. Además, sirve para la auto limpieza de los paneles cuando llueve.

A pesar de que, ni la trayectoria del sol ni las horas de luz son las mismas en invierno que en verano, los soportes para la instalación serán fijos y por lo tanto el ángulo de inclinación también.

La latitud del emplazamiento es  $43,389^\circ$  y, según el IDAE, la fórmula para calcular el ángulo óptimo de inclinación se muestra en la ecuación (1) donde  $\varnothing$  se corresponde con la latitud.

$$\beta_{\text{opt}} = \varnothing - 10 \quad (6)$$

Como estamos hablando de tecnología bifacial, para aprovechar la radiación reflejada y maximizarla, el ángulo de inclinación será ligeramente superior acercándose a la latitud del emplazamiento seleccionado. Es decir, una inclinación ligeramente superior de unos  $5^\circ$ .

El ángulo óptimo final será de  $38,389^\circ$ .

Para instalaciones en el hemisferio Norte, la orientación adecuada de los módulos es hacia el Sur.

### 4.3 Distancia entre paneles

¿Por qué los paneles en una instalación en el suelo no se colocan seguidos y sin espacio entre ellos? El principal motivo es evitar sombreados y, por tanto, maximizar la producción de energía por las dos caras del panel.

Ya que las sombras juegan un papel importante, ¿qué sucede con la sombra de un objeto si se varía su altura? ¿la sombra tiene la misma fuerza? La figura 3.17 muestra el resultado.

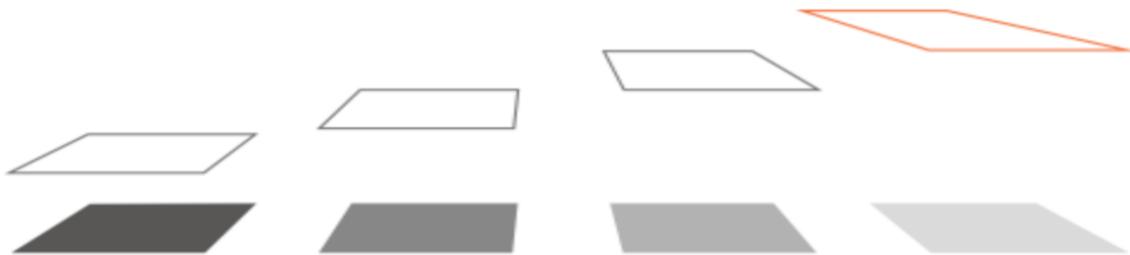


Figura 4.3: sombras de los paneles respecto de la altura de instalación

En la tecnología bifacial, la sombra reflejada en la cara posterior tiene un efecto crucial para la generación final. Sombras oscuras resultan menos favorables que sombras claras. Se recomiendan alturas de aproximadamente 1 metro.

En las instalaciones bifaciales existe una expresión (2) que relaciona la longitud del panel con la distancia entre filas de paneles. El parámetro se denomina GCR (*Ground Coverage Ratio*).

$$CR = \frac{L}{R} \quad (7)$$

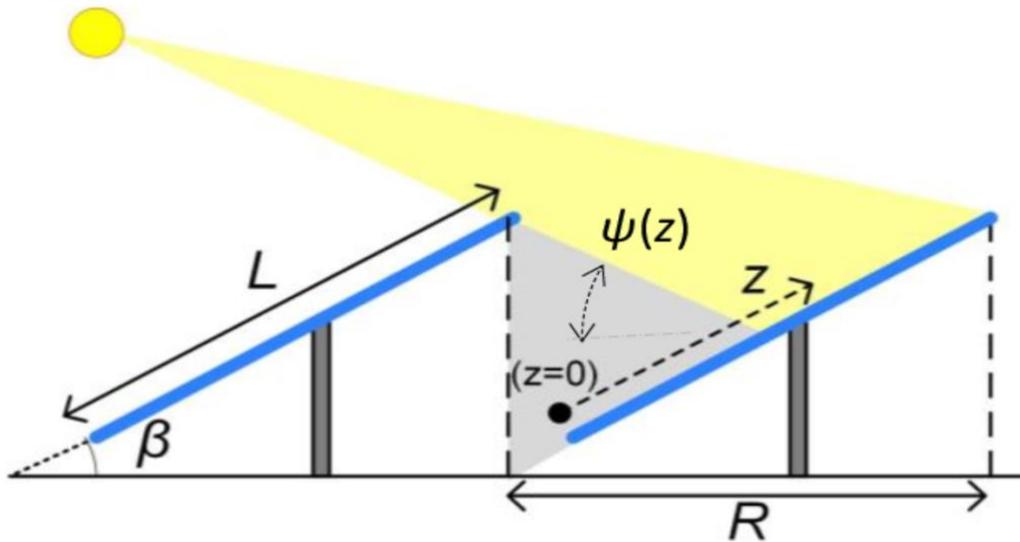


Figura 4.4: GCR

Siendo  $R$  la distancia entre filas de paneles y  $L$  la longitud del panel.

Esto significa que, si la distancia entre filas es pequeña, el GCR tendrá un valor alto y el sombreado de los paneles es más probable. Por el contrario, un valor del GCR más pequeño implica una distancia entre filas mayor y por lo tanto una posibilidad pequeña de sombreado o nula. Para este caso se escogerá  $GCR = 0,4$ .

A continuación, datos obtenidos del panel del anexo A.

En caso de realizar una instalación con los paneles dispuestos de manera horizontal se obtiene el siguiente resultado:

$$GCR = \frac{L}{R} \Rightarrow R = \frac{L}{GCR} = \frac{1,169m}{0,45} = 2,597 m$$

En caso de que los paneles se dispongan en forma vertical:

$$GCR = \frac{L}{R} \Rightarrow R = \frac{L}{GCR} = \frac{2,279m}{0,45} = 5,064 m$$

## 4.4 Datos de radiación del Sol

Es necesario saber la radiación que tenemos en el lugar geográfico donde nos encontramos. En este caso, San Salvador (Cantabria). Con ayuda de la herramienta PVGIS ([https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)) se obtienen los datos de la producción de energía. Para que no haya problemas de abastecimiento, se busca el mes más desfavorable, en este caso, enero.

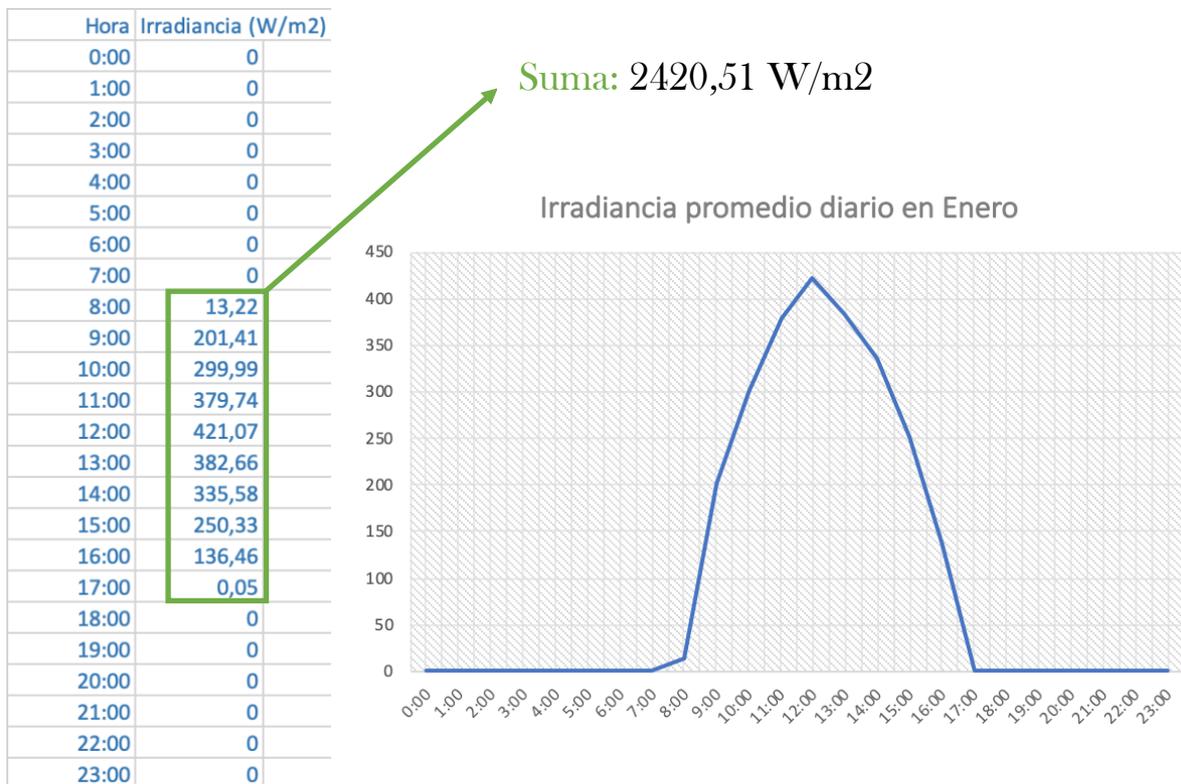


Figura 4.5: irradiancia diaria promedio mes de enero (Fuente: PVGIS)

Para simplificar futuros cálculos en la estimación de la potencia fotovoltaica necesaria para las necesidades del usuario en la instalación, a continuación, se calculan las Horas Solar Pico (HSP). Representan las horas en las que se recibe toda la energía de un día pero con una hipotética irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup>.

Dicho esto, el valor es:

$$HSP = \frac{2420,51 \frac{W}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}} = 2,42051 h \quad (8)$$

## 4.5 Consumo diario

Se pretende electrificar una vivienda y los servicios que la instalación cubrirá, como iluminación y electrodomésticos, se muestran en la tabla 1.2. Como todos los días no se consume por igual, se hace una valoración de las horas de la demanda.

Servicio	Pot (W)	Nº	Ptotal (W)	Horas	Energía diaria (Wh)
Extractor	25	1	25	0,5	12,5
Nevera	250	1	250	12	3000
Lavadora	1500	1	1500	0,5	750
Lavavajillas	1500	1	1500	0,5	750
Vitrocerámica	900	1	900	0,5	450
Microondas	800	1	800	0,166667	133,3336
TV	200	1	200	2	400
Móvil	5	2	10	1	10
Ordenador	85	1	85	1	85
Iluminación de:					
Cocina	10	3	30	2,5	75
Dormitorios	15	2	30	2	60
Baño	20	1	20	1	20
Salón	10	3	30	4	120
Pasillo	10	1	10	0,4	4
Exterior	10	2	20	2	40
<b>TOTAL</b>			<b>5410</b>		<b>5909,83</b>

Tabla 4.1: inventario de demanda energética

## 4.6 Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Para el diseño del generador fotovoltaico se dispone del módulo fotovoltaico Recom Panther 525, cuya hoja de características se adjunta en el anexo A. Los parámetros que presenta en las condiciones estándar de medida son los siguientes (STC):

- Potencia cara frontal = 525 Wp
- Potencia con el 20% adicional de la cara posterior = 630 Wp
- Corriente de cortocircuito = 13,65 A
- Corriente en el punto de máxima potencia = 12,75 A
- Tensión de circuito abierto = 49,05 V
- Tensión en el punto de máxima potencia = 41,20 V

La potencia total requerida por la instalación puede estimarse a partir de la ecuación 4.

$$P_{PV} = \frac{E}{G * \eta_{sys}} \quad (9)$$

- i.  $E$ : energía diaria demandada (tabla 1.2).
- ii.  $G$ : irradiancia expresada en HSP (ecuación 3).
- iii.  $\eta_{sys}$ : rendimiento energético de la instalación que, según el IDAE, tiene un valor típico de 0,6 en sistemas con inversor y baterías.

La potencia de la instalación es:

E (Wh)	G (HSP)	$\eta_{sys}$ (%)	$P_{PV}$ (kW)
5909,83	2.42	0,6	4,07

Tabla 4.2: potencia de la instalación

El número de paneles es:

$$n_{\text{paneles}} = \frac{4,07kWp}{630Wp} = 6,46 \text{ paneles} \Rightarrow 7 \text{ paneles}$$

## 4.7 Dimensionamiento del sistema de acumulación

Los parámetros principales de cada batería son:

- Tensión nominal:
- Capacidad nominal:

El cálculo de la capacidad del sistema de acumulación puede calcularse mediante la ecuación 5.

$$Q = \frac{E * A}{V_N * T * \eta_{inv} * \eta_{con}} \quad (10)$$

- i.  $E$ : energía diaria demandada (tabla 1.2).
- ii.  $A$ : autonomía expresada en días.
- iii.  $V_N$ : tensión nominal del sistema de acumulación.
- iv.  $T$ : profundidad de descarga.
- v.  $\eta_{inv}$ : rendimiento energético del inversor.
- vi.  $\eta_{con}$ : eficiencia del cableado que va al inversor.

E (Wh)	A (días)	$V_N$ (V)	T (%)	$\eta_{inv}$ (%)	$\eta_{con}$ (%)	Q(Ah)
5909,83	5	48	0,5	0,93	0,97	1364,83
5909,83	2	48	0,5	0,93	0,97	545,93

Tabla 4.3: capacidad del sistema de acumulación

La capacidad equivale a una batería de voltaje menor que la tensión de trabajo del sistema. Para conseguir dicho voltaje, se deben colocar ‘n’ baterías en serie hasta alcanzar la tensión de trabajo. La capacidad, al realizar la conexión en serie, seguirá siendo la misma. Por lo tanto, si la tensión nominal es de 48V y las baterías elegidas tienen un voltaje de 2V, el sistema tendrá un total de 24 baterías.

## 4.8 Dimensionamiento del regulador

Los parámetros principales del regulador son:

- Tensión nominal:
- Corriente máxima:

Para su dimensionamiento hay que tener en cuenta dos puntos. En primer lugar, la corriente máxima a la entrada (ecuación 6), es decir, la corriente suministrada por el generador fotovoltaico. En segundo lugar, la corriente máxima de salida (ecuación 7).

$$I_{entrada} = 1,25 * (I_{SC_{gen}} * N_{ramas}) \quad (11)$$

- i. *Factor 1,25:*
- ii.  $I_{SC_{gen}}$ : corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico

El mercado ofrece multitud de reguladores de diferentes características y fabricantes. Teniendo esto en cuenta, se ha escogido un dispositivo que satisface las siguientes características de entrada:

- 1) Rango de tensiones de entrada que admita 342,35V
- 2) Permita una intensidad de entrada de 13,65 A

$I_{SC_{gen}}$ (A)	$N_{ramas}$	$I_{entrada}$ (A)
13,65	1	17,06

Tabla 4.4: intensidad de entrada máxima permitida para el regulador

$$I_{salida} = 1,25 * \left( \frac{P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}}}{V_{bat}} \right) \quad (12)$$

- i.  $P_{DC}$ : potencia de los consumos en corriente continua.
- ii.  $P_{AC}$ : potencia de los consumos en corriente alterna.
- iii.  $\eta_{inv}$ : rendimiento del inversor.
- iv.  $V_{bat}$ : tensión del sistema de acumulación.

$P_{DC}$	$P_{AC}$ (W)	$\eta_{inv}$ (%)	$V_{bat}$ (V)	$I_{salida}$ (A)
0	5410	0,93	48	151,49

Tabla 4.5: intensidad de salida máxima del regulador

## 4.9 Dimensionamiento del inversor

El inversor seleccionado presenta las siguientes principales características:

- Potencia nominal: 5000 W.
- Rango de tensiones MPPT: 120 ~ 430 VDC
- Corriente máxima: 80 A
- Onda senoidal pura a la salida.

Según el IDAE, el dimensionamiento de los inversores debe asegurar que la tensión y la frecuencia de salida estén lo siguientes márgenes:

- $V_{NOM} \pm 5\%$ , siendo  $V_{NOM} = 220V_{RMS}$  o  $230V_{RMS}$
- $50Hz \pm 2\%$

La potencia del inversor deberá ser:

$$P_{INV-AC} = \frac{P_{gen}}{SR_{AC}} \quad (13)$$

- i.  $P_{gen}$ : potencia del generador fotovoltaico.
- ii.  $SR_{AC}$ : parámetro *Sazing Ratio*.

$P_{gen}$ (kW)	$SR_{AC}$	$P_{INV-AC}$ (kW)
4,07	1,1	3,7

Tabla 4.6: potencia del inversor

## 4.10 Dimensionamiento del cableado

La sección del cableado en corriente continua se calcula según la siguiente expresión:

$$S = \frac{2 * l * I}{C_{cu} * \delta U} \quad (14)$$

- i.  $l$ : longitud del conductor en metros.
- ii.  $I$ : intensidad de cortocircuito.
- iii.  $K_{cu}$ : conductividad del cobre.
- iv.  $\delta U$ : caída de tensión permitida del 1,5%.

Para estimar la longitud del cableado se ha tenido en cuenta que el regulador se encuentra a unos diez metros del terreno donde se instalan los paneles.

$N_{\text{paneles/rama}}$	Longitud (m)	Intensidad (A)	$K_{cu}$	Tensión (V)	$\delta U$ (1,5%)	Sección (mm <sup>2</sup> )
7	20	13,65	45,45	343,14	5,1471	2,33

Tabla 4.7: sección del conductor en corriente continua

Las secciones finales en función de las secciones calculadas y disponibles en el mercado para el cobre quedan de la siguiente manera:

Sección (mm <sup>2</sup> )	Sección final (mm <sup>2</sup> )
2,33	2,5

Tabla 4.8: sección final del conductor en continua

El cálculo de la sección de cableado en corriente alterna se calcula, al igual que en el dimensionado de corriente continua, según la expresión (9).

Para estimar la sección del cableado, se tiene en cuenta que la distancia del inversor al cuadro de alterna de la vivienda es de quince metros y que la intensidad de salida máxima del inversor son 80 A.

I (A)	Longitud (m)	Tensión (V)	$\delta U$ (1,5%)	$K_{cu}$	Sección (mm <sup>2</sup> )
80	15	230	3,45	45,45	15,30

Tabla 4.9: sección del conductor en alterna

Según la sección calculada y las secciones disponibles en el mercado para los conductores de cobre en alterna, se obtiene:

Sección (mm <sup>2</sup> )	Sección final (mm <sup>2</sup> )
15,30	16

Tabla 4.10: sección final del conductor en alterna

## 4.11 Protecciones

Se incorporan fusibles para garantizar el funcionamiento eléctrico de los módulos en serie y evitar sobretensiones y cortocircuitos.

Los fusibles en corriente continua deben cumplir:

$$1,5 * I_{SC} \leq I_N \leq 2 * I_{SC} \quad (15)$$

$I_{SC}$	$I_N$
13,65	$20,48 A \leq I_N \leq 27,3 A$



$I_N = 25 A$

Tabla 4.11: intensidad nominal de los fusibles en continua

En corriente alterna se utilizarán interruptores magnetotérmicos diferenciales. Sus condiciones de corriente para evitar cortocircuitos y sobrecargas se expresan en las ecuaciones 11 y 13 respectivamente.

$$I_{CORTE} > I_{CC_{MAX}} \quad (16)$$

- i.  $I_{CORTE}$ : corriente de corte de la protección.
- ii.  $I_{CC_{MAX}}$ : corriente de cortocircuito máxima.

El cálculo de la intensidad de cortocircuito viene definido por la expresión 12.

$$I_{CC} = \frac{k * S}{\sqrt{t}} \quad (17)$$

- i.  $k$ : coeficiente para cobre y aislamiento XLPE.
- ii.  $S$ : sección del conductor.
- iii.  $t$ : duración del cortocircuito.

$k$	$S$ (mm <sup>2</sup> )	$t$ (s)	$I_{CC}$ (A)
143	16	0,5	3236,21

Tabla 4.12: intensidad de cortocircuito máxima de la condición de cortocircuito

$$I_B < I_{INTE} < N_{COND} * I_{MAXCOND} \quad (18)$$

- i.  $I_B$ : intensidad de diseño del tramo (salida del inversor).
- ii.  $I_{INTE}$ : intensidad nominal del interruptor.
- iii.  $N_{COND}$ : número de conductores del tramo.
- iv.  $I_{MAXCOND}$ : intensidad máxima admisible del conductor.

$I_B$ (A)	$I_{INTE}$ (A)	$N_{COND}$	$I_{MAXCOND}$ (A)
80	100	2	91

Tabla 4.13: condición de sobrecarga del interruptor diferencial

## Capítulo 5. Análisis económico

A continuación, se muestra un análisis económico y de amortización teniendo en cuenta diferentes escenarios. Además, se incluye el resultado del autoconsumo en la factura de la luz para el usuario. Este ejercicio se ha llevado a cabo teniendo en cuenta los precios de la electricidad en el año 2021.

### 5.1 Presupuesto

La tabla 2.4 muestra el presupuesto para una instalación con un sistema de acumulación de 5 días de autonomía. La tabla 2.5, para una instalación con baterías por autonomía de 2 días y finalmente, la tabla 2.6, para una instalación sin baterías. Además, se incluyen gráficos para visualizar el grado de inversión que cada componente contribuye a la instalación.

Componente	Precio Unitario (€)	Cantidad	Coste total (€)
Módulos FV	286,44	7	2005,08
Baterías	466,19	24	11188,56
Regulador	842,89	1	842,89
Inversor	875	1	875
Cable DC	1,3	50	65
Cable AC	5,05	20	101
Fusibles DC	2,25	6	13,5
Diferencial AC	85,91	1	85,91
<b>TOTAL</b>			<b>15176,94</b>

Tabla 5.1: inversión inicial con baterías por 5 días de autonomía

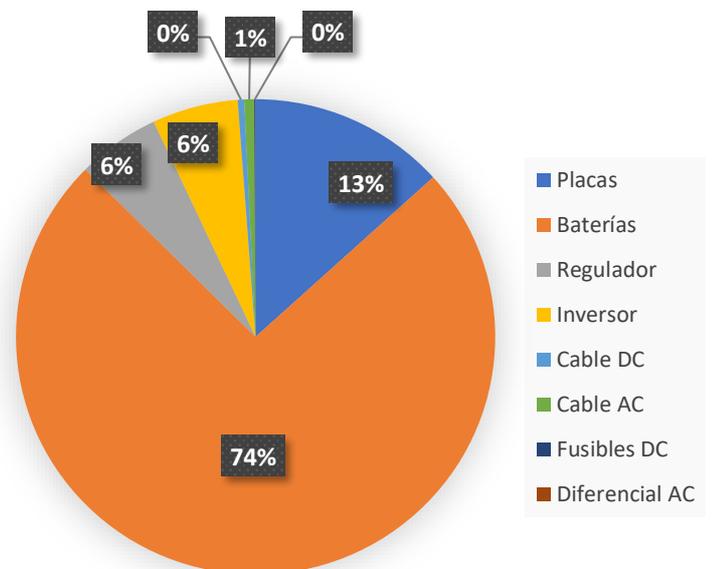


Figura 5.1: contribución de cada componente

Componente	Precio Unitario (€)	Cantidad	Coste total (€)
Módulos FV	286,44	7	2005,08
Baterías	241,02	24	5784,48
Regulador	842,89	1	842,89
Inversor	875	1	875
Cable DC	1,3	50	65
Cable AC	5,05	20	101
Fusibles DC	2,25	6	13,5
Diferencial AC	85,91	1	85,91
<b>TOTAL</b>			<b>9772,86</b>

Tabla 5.2: inversión inicial con baterías por 2 días de autonomía

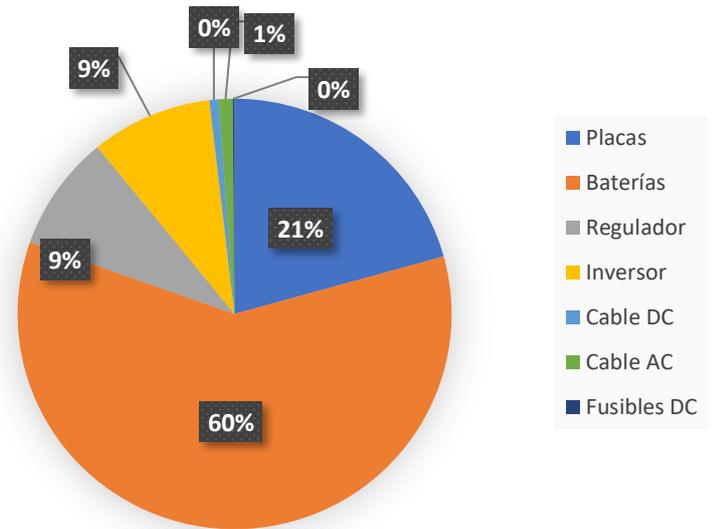


Figura 5.2: contribución de cada componente

Componente	Precio Unitario (€)	Cantidad	Coste total (€)
Módulos FV	286,44	7	2005,08
Regulador	842,89	1	842,89
Inversor	875	1	875
Cable DC	1,3	50	65
Cable AC	5,05	20	101
Fusibles DC	2,25	6	13,5
Diferencial AC	85,91	1	85,91
<b>TOTAL</b>			<b>3988,38</b>

Tabla 5.3: inversión inicial sin baterías

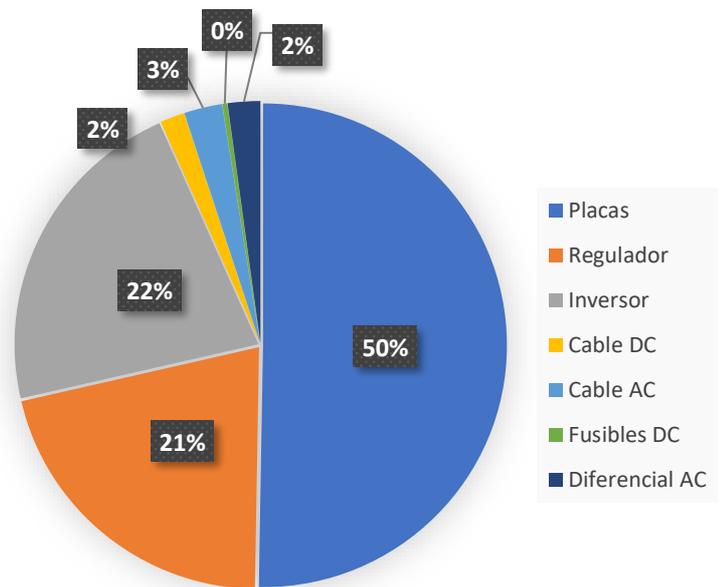


Figura 5.3: contribución de cada componente

## 5.2 Balance económico

¿Qué nos permite ahorrar nuestra instalación fotovoltaica? Los llamados costes variables. La factura de la luz se compone de unos costes fijos y unos costes variables. A modo de resumen, los costes fijos incluyen la facturación por potencia contratada, mientras que los costes variables, incluyen la facturación por energía consumida.

La tabla 2.6 muestra una factura de luz mensual y anual simplificada. Además, se incluyen dos gráficos que muestran el efecto del autoconsumo sobre los costes variables.

Mes	Costes fijos (€)	Costes variables (€) sin autoconsumo	Costes variables (€) con autoconsumo al 80% de ahorro	Ahorro (€) aislado de la red	Ahorro (€) estando conectado a la red	Excedentes FV (€)	Ahorro mensual (%)
Enero	15,38	15,02	3,004	30,4	12,016	11,92	64,84
Febrero	13,89	15,84	3,168	29,73	12,672	16,95	99,36
Marzo	15,38	18,76	3,752	34,14	15,008	21,56	112,69
Abril	14,88	22,35	4,47	37,23	17,88	22,53	116,43
Mayo	14,88	21,53	4,306	36,41	17,224	24,16	125,93
Junio	13,16	22,4	4,48	35,56	17,92	23,77	134,75
Julio	13,16	23,19	4,638	36,35	18,552	25,74	144,62
Agosto	13,16	27,41	5,482	40,57	21,928	25,64	137,54
Septiembre	11,31	29,47	5,894	40,78	23,576	25,10	145,89
Octubre	10,41	41,92	8,384	52,33	33,536	20,47	108,91
Noviembre	10,07	45,36	9,072	55,43	36,288	13,53	65,11
Diciembre	10,46	53,55	10,71	64,01	42,84	12,16	57,44
<b>TOTAL</b>	156,14	336,8	67,36	492,94	269,44	243,53	109,46

Tabla 5.4: factura de la luz con y sin autoconsumo

**NOTA:** los meses superiores al 100% significan un ahorro total ese mes. El usuario será compensado siempre y cuando no se supere su propio consumo. Por lo tanto, el ahorro máximo es del 100%.

### Sin autoconsumo

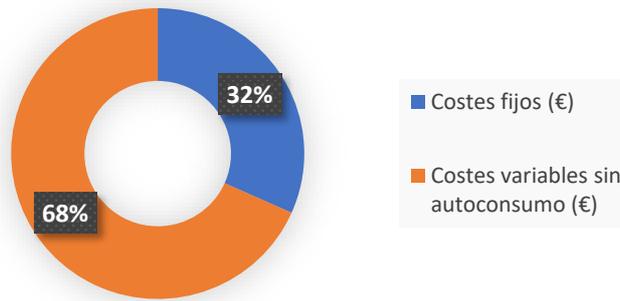


Figura 5.4: costes sin autoconsumo

### Ahorro del 80% de los costes variables

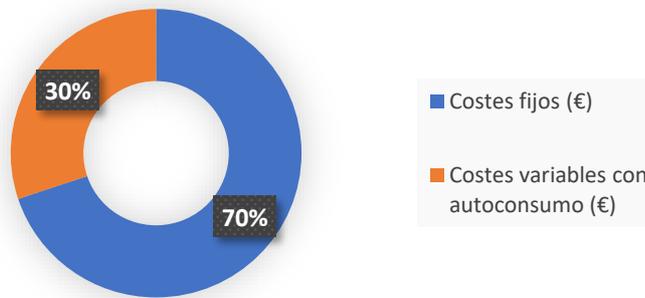


Figura 5.5: costes con autoconsumo

## 5.3 Tiempo de amortización

En el estudio de amortización se ha tenido en cuenta: la inversión inicial y la recuperación de ésta a través del ahorro mensual en cada factura eléctrica. Además, para estudiar los escenarios más desfavorables, se ha tenido en cuenta una nueva inversión para el generador fotovoltaico y el sistema de acumulación. Se muestran diferentes figuras, comparadas entre sí, para cada escenario: instalación fotovoltaica con sistema de acumulación y autonomía de 5 días, con sistema de acumulación de 2 días de autonomía e instalación fotovoltaica sin baterías. Todas ellas para un sistema aislado de la red comparadas con un sistema conectado a la red eléctrica y con venta de excedentes que se han calculado en 243,53 €/año.

### Aislado de la red

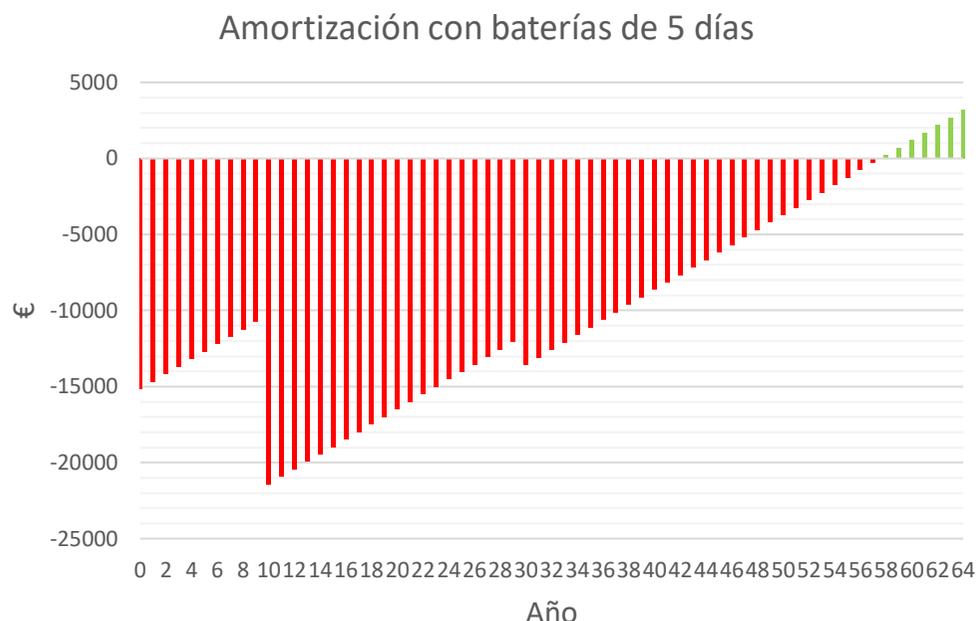


Figura 5.6: amortización de la instalación aislada de la red

### Conectado a la red

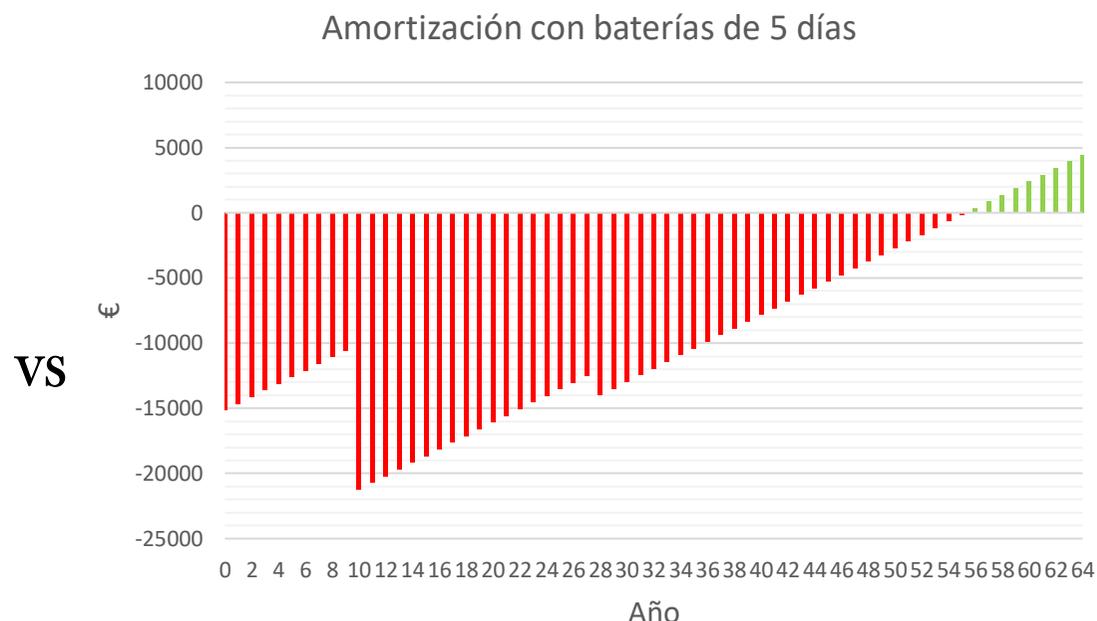


Figura 5.7: amortización de la instalación conectada a red y con venta de excedentes

VS

La amortización para una instalación con sistema de acumulación de 5 días de autonomía y aislado de la red se demora hasta los cincuenta y ocho años mientras que si se permanece conectado a la red eléctrica son cincuenta y seis. Se observan picos negativos que representan: una nueva inversión en las baterías a los diez años debido al período de vida útil de los dispositivos y, otro pico a los treinta años, que representa una inversión en el generador fotovoltaico debido a la degradación y su periodo de vida útil.

### Aislado de la red

Amortización con baterías de 2 días

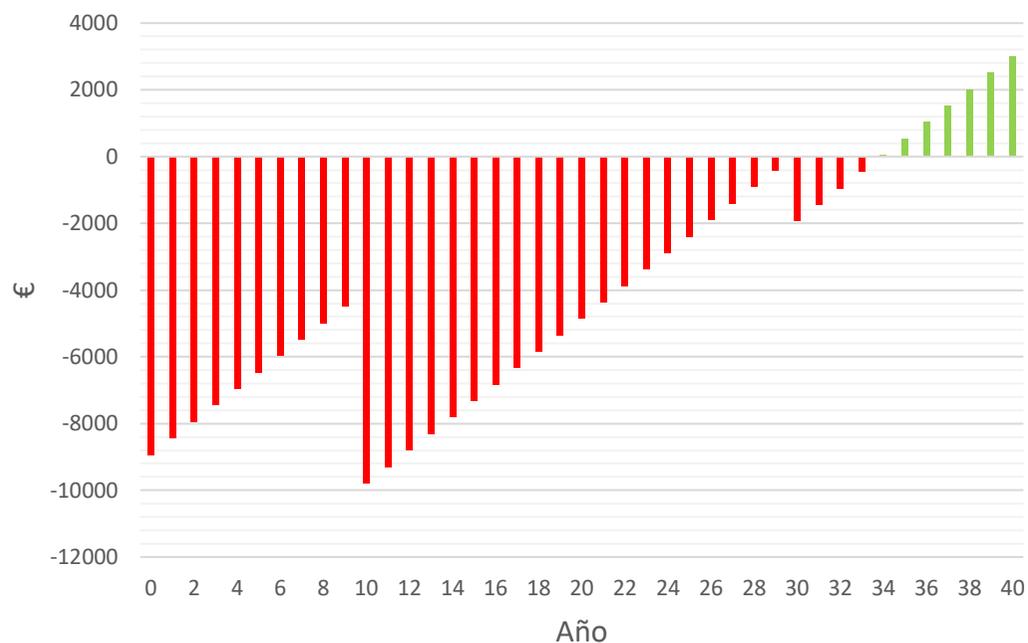


Figura 5.8: amortización de la instalación conectada a la red

### Conectado a la red

Amortización con baterías de 2 días

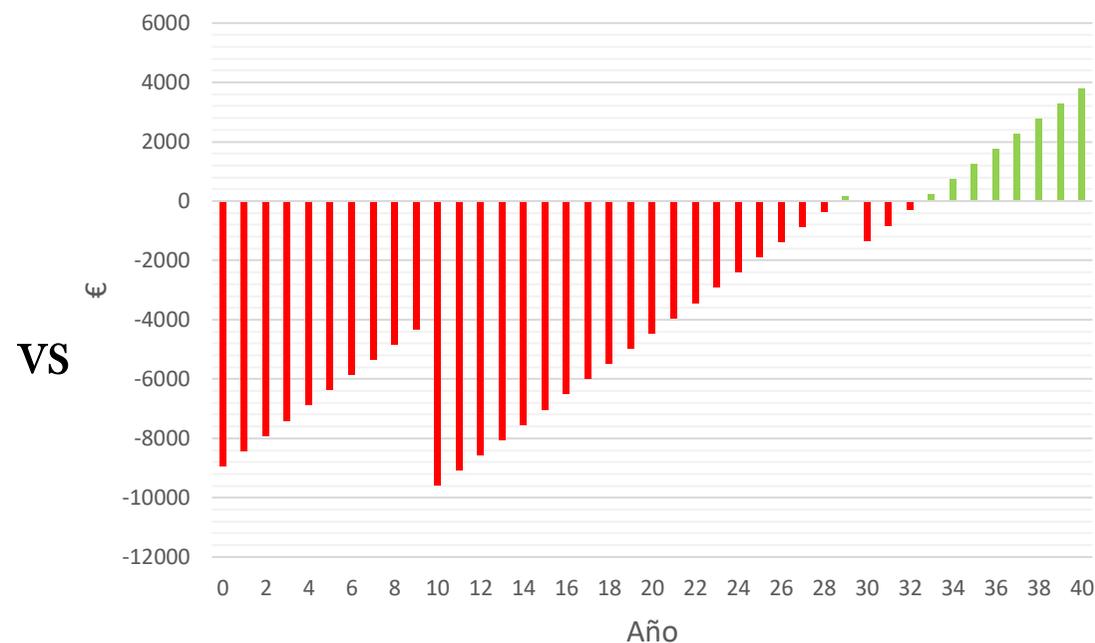


Figura 5.9: amortización de la instalación conectada a red y con venta de excedentes

En una instalación con un sistema de acumulación de dos días de autonomía, la amortización, si nos encontramos aislados de la red es a los treinta y cuatro años mientras que, si estamos conectados a la red, es a los treinta y tres años. En la figura 6.0, instalación con venta de excedentes, la instalación queda previamente amortizada a los veintinueve años, sin embargo, se prolonga su amortización cuatro años más por la inversión en los paneles. Tanto en las figuras 5.7 y 5.8 como en las 5.9 y 6.0 se ha tenido en cuenta el escenario más desfavorable suponiendo nuevas inversiones en los dispositivos económicamente más costosos.

### Aislado de la red

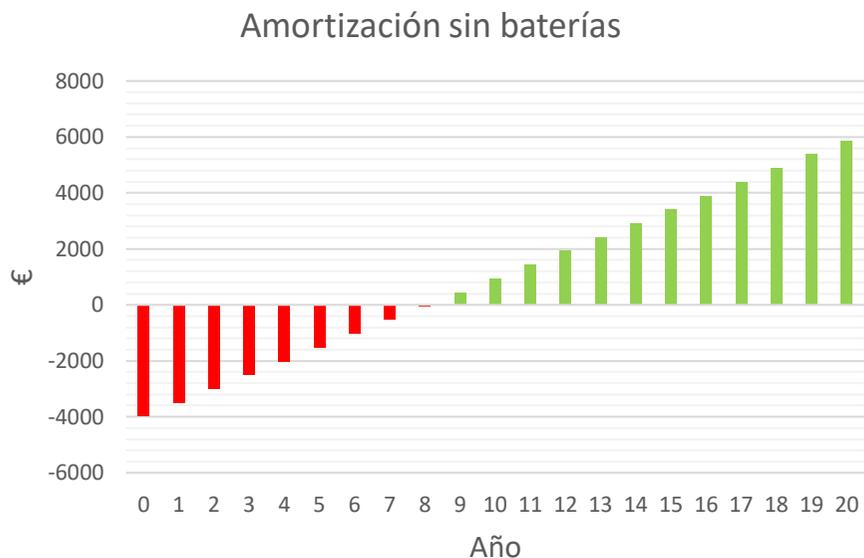


Figura 5.10: amortización de la instalación aislada de la red

VS

### Conectado a la red

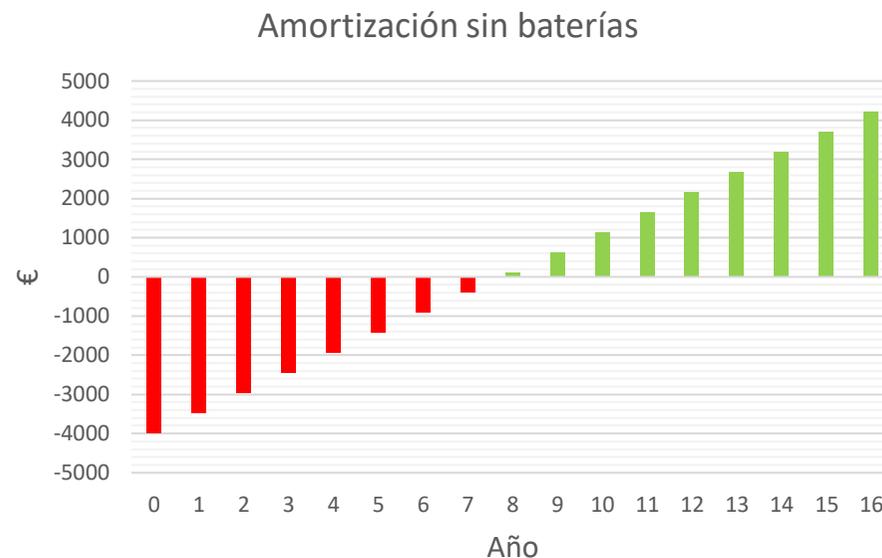


Figura 5.11: amortización de la instalación conectada a la red y con venta de excedentes

Finalmente, el último escenario estudiado, se trata de una instalación sin sistema de acumulación. La amortización para un sistema completamente aislado de la red se alcanza a los nueve años mientras que para una instalación conectada a la red a los ocho años.

## Capítulo 6. Esquema eléctrico

La figura 6.3 muestra el esquema eléctrico de la instalación. En este caso se indica con un sistema de acumulación a una tensión de trabajo de 48V. En caso de no precisar de las baterías, se suprimirían del gráfico unifilar.

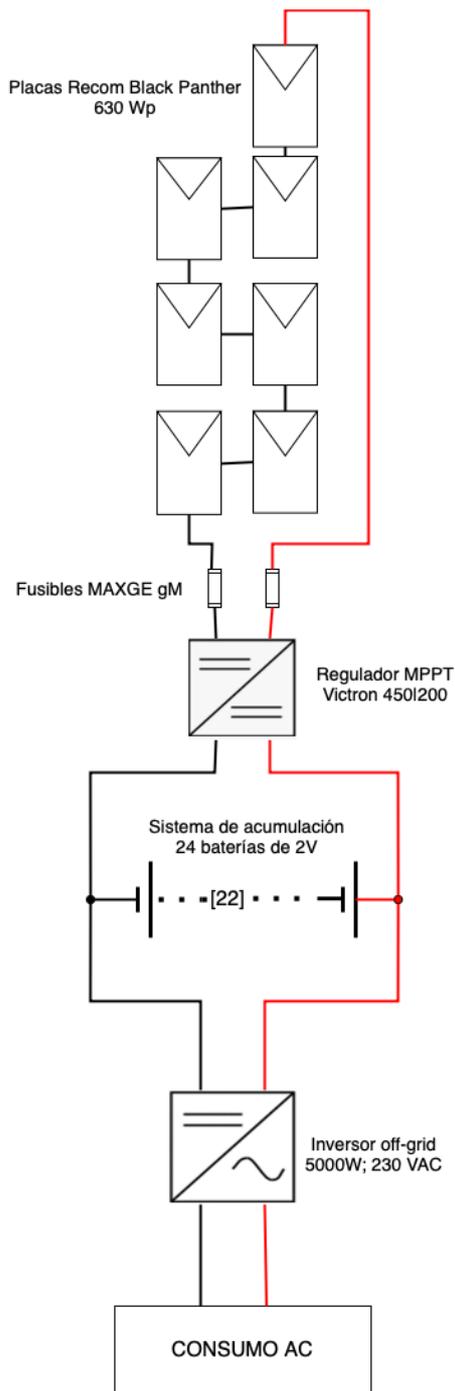


Figura 6.1: esquema eléctrico de la instalación

Además, se muestra la disposición de los paneles sobre el emplazamiento en la figura 6.4



Figura 6.2: disposición de los paneles en el emplazamiento

## Capítulo 7. Conclusiones

Las energías renovables representan una fuente de energía seria y efectiva para moderar los efectos del Cambio Climático. Con el objetivo de proporcionar un conocimiento general de la actualidad de las energías renovables y, en especial, de la energía solar fotovoltaica en un contexto mundial y en España, se muestran datos y previsiones sobre dichas tecnologías.

A continuación, se han expuesto los diferentes elementos que componen una instalación fotovoltaica con especial atención en aclarar las cuestiones fundamentales de la tecnología bifacial. Asimismo, se ha explicado el comportamiento de cada componente de la instalación y precisados cálculos pertinentes para su montaje. En base a estas concreciones, se ha indagado en la búsqueda de cada elemento de manera que, sus características técnicas, sean compatibles entre sí.

Para un consumo diario estimado de 5909,83 Wh se ha calculado una potencia para la instalación de 4,07 kW distribuidos en orientación sur para maximizar la producción de energía. Debido a la localización del emplazamiento y, por lo tanto, a su climatología, se ha escogido un sistema con baterías para dotar de suficiencia energética al usuario cuando las condiciones meteorológicas dificulten la producción del generador fotovoltaico. Para finalizar el diseño, se ha comprobado la concordancia eléctrica entre los elementos y se han calculado las protecciones eléctricas.

Se han analizado los resultados en términos económicos para diferentes escenarios. Las situaciones estudiadas son: una instalación fotovoltaica con un sistema de acumulación de cinco días de autonomía, otra instalación con un sistema de dos días de autonomía y finalmente un sistema sin baterías y, además, conectado a la red eléctrica. Las inversiones iniciales son de 15176,94 €, 9772,86 € y 3988,38 € respectivamente. Parecen no ser elevadas, sin embargo, su amortización es muy retardada y no es el objetivo de un usuario de autoconsumo. No es el caso del tercer supuesto, cuya amortización es habitual, interesante y atractiva para el usuario.

# Anexo A

**MONO CRYSTALLINE HALF-CUT BIFACIAL MODULE**  
525 / 530 / 535 / 540 / 545 Watts

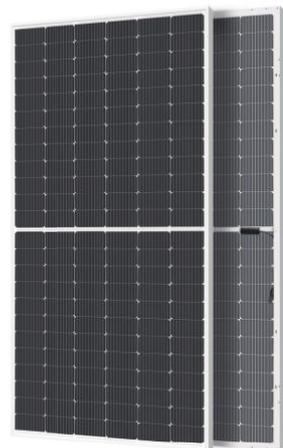
## Panther

### Overview

Ground breaking technology, higher power output, improved system performance - the ideal solution for end users who want a fast turnaround on their investments. A fully certified premium quality and high efficiency module made with A Grade materials.

### Key Benefits

- |  |   |  |                                   |
|--|---|--|-----------------------------------|
|  | Certified by Independent Engineering Bodies |  | Product Liability Insurance       |
|  | Ultra High Power Output                     |  | 15 Years Limited Product Warranty |
|  | Low Resistive Losses                        |  | Higher Light Conversion           |



Guaranteed mechanical resistance to severe weather conditions



Positive Tolerance

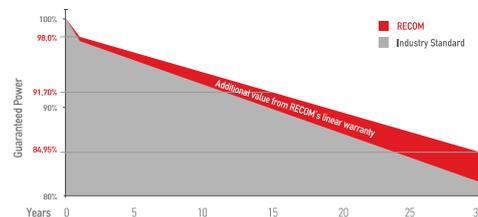


100 % electro-luminescence tested

### Tests, Certifications and Warranties

Standard Tests	IEC 61215, IEC 61730
Factory Quality Tests	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
Certifications	Conformity to CE, PV CYCLE Fire safety Class C according to UL790
Insurance	Third party liability insurance provided by Liberty Mutual
Wind and Snow Loads Testing	Module certified to withstand extreme wind (2400 Pascal) and snow loads (5400 Pascal)
Power Tolerance	Guaranteed +0%/+5% (STC condition)
Warranties	<ul style="list-style-type: none"> <li>15-year limited product warranty</li> <li>15-year manufacturer warranty on 91.70% of the nominal performance</li> <li>30-year transferable linear power output warranty</li> </ul>

### Linear Performance Warranty



First Year Output **≥ 98%**    2-30 Year Decline **≤ 0.45%**    30 Year Output **≥ 91.70%**

© Copyright 2021, RECOM

**MONO CRYSTALLINE HALF-CUT BIFACIAL MODULE**

RCM-xxx-7BMF (xxx=525-545)

**Electrical Characteristics**

POWER CLASS <sup>(1)</sup>			525		530		535		540		545	
Testing Condition			STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT
Maximum Power	Pmax	[Wp]	525	392,1	530	395,8	535	399,5	540	403,3	545	407,0
Maximum Power Voltage	Vmp	[V]	41,20	38,36	41,35	38,50	41,50	38,64	41,65	38,78	41,80	38,92
Maximum Power Current	Imp	[A]	12,75	10,23	12,82	10,28	12,90	10,34	12,97	10,40	13,04	10,46
Open Circuit Voltage	Voc	[V]	49,05	45,98	49,20	46,12	49,35	46,26	49,50	46,41	49,65	46,55
Short Circuit Current	Isc	[A]	13,65	11,04	13,71	11,09	13,78	11,15	13,85	11,20	13,92	11,25
Module Efficiency	Eff	[%]	20,3		20,5		20,7		20,9		21,1	
Maximum Series Fuse	Ir	[A]							25			
Maximum System Voltage	Vsys	[V]							1500 V (IEC)			

(1) Measurement Tolerances: Pmax (± 3%), Isc & Voc (± 5%) - Power Classification 0/+5W  
 (2) STC (Standard Testing Condition): Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, AM 1.5  
 (3) NMOT (Nominal Operating Module Temperature): Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, NMOT, Ambient Temperature 20°C, AM 1.5, Wind Speed 1m/s

**Bi Facial Output (4)**

POWER CLASS			525		530		535		540		545	
			Pmax [Wp]	Eff [%]								
Power with Backside Gain	+5	[%]	551,3	21,3%	556,5	21,5%	561,8	21,7%	567,0	21,9%	572,3	22,1%
	+10	[%]	577,5	22,3%	583,0	22,6%	588,5	22,8%	594,0	23,0%	599,5	23,2%
	+15	[%]	603,8	23,4%	609,5	23,6%	615,3	23,8%	621,0	24,0%	626,8	24,3%
	+20	[%]	630,0	24,4%	636,0	24,6%	642,0	24,8%	648,0	25,1%	654,0	25,3%
	+25	[%]	656,3	25,4%	662,5	25,6%	668,8	25,9%	675,0	26,1%	681,3	26,4%
	+30	[%]	682,5	26,4%	689,0	26,7%	695,5	26,9%	702,0	27,2%	708,5	27,4%

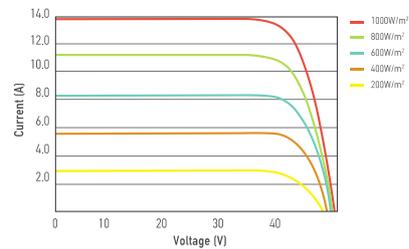
(4) Bifaciality Factor > 70% - Back-side power gain depends upon the specific project albedo - Efficiency is according to the surface of the module

**Mechanical Data**

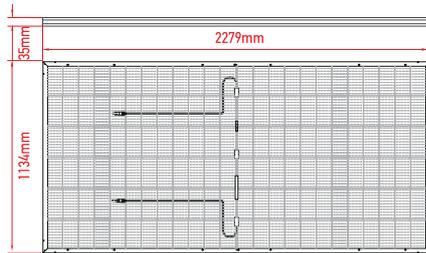
Dimensions	2279mm x 1134mm x 35mm
Weight	28.2 Kg
Cell Type	Mono Perc – 182mm x 91mm (2x72 Pcs) – M10
Front Glass	3.2mm Tempered and low iron glass + ARC
Rear Side	Anti-aging film (Clear)
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 - 3 Bypass Diodes
Connector	EVO2 or EVO2 compatible
Output cable	4.00mm <sup>2</sup> Length 300mm or customized

**I-V Curve**

The module relative power loss at low light irradiance of 200W/m<sup>2</sup> is less than 3%.



**Dimensions**



RECOM assumes no liability or responsibility for any typographical error, layout error, misinformation, any other error, omission, contained herein.

recom-solar.com

**Temperature Characteristics**

Pmax Temperature Coefficient	-0.35% / °C
Voc Temperature Coefficient	-0.27% / °C
Isc Temperature Coefficient	+0.048% / °C
Operating Temperature	-40 ~ +85 °C
Nominal Operating Module Temperature (NMOT)	42 ± 2 °C

**Packing Configuration**

Container	40'HC
Pieces per Pallet	31
Pallets per Container	20
Pieces per Container	(31+31)x10=620

\*\*Release: RCM-xxx-7BMF (xxx=525-545)-10-M10-3S-ST-15V-402-2021-07-v1.0

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, RECOM Solar reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

© Copyright 2021, RECOM

## BATERÍAS EXIDE MODELOS OPZS CLASSIC SOLAR

La gama Classic OpzS Solar ha sido utilizada durante décadas en requerimientos de energía medios y grandes.

Este acumulador de energía es una batería de plomo-ácido de bajo mantenimiento con electrolito líquido.

Debido a su robustez, larga vida de diseño y alta fiabilidad, estas baterías son ideales para el uso en estaciones solares y eólicas, telecomunicaciones, compañías de distribución de energía, ferrocarriles y muchos otros suministros de energía de equipos de seguridad.

### Características

- Placas tubulares.
- Capacidad nominal 70-4600 Ah.
- Monoblocs.
- Elementos de 2 V.
- 2000 ciclos según IEC 896-1.
- Bajo mantenimiento.
- Reciclables.



Modelo	Ten.Nom. (V)	Capacidad C <sub>120</sub> 1.85 V/C 25 °C Ah	Long x Anch x Alt* (mm)	Long. Inst. (mm)	Peso Incluido Acido (kg)	Peso Acido** (kg)	Resistencia Interna	Intensidad Cortocircuito Según A	Terminal	NºTerm / polo
190	2	190	105 208 395	115	13.7	5.20	1.45	1400	F-M8 1	
245	2	245	105 208 395	115	15.2	5.00	1.05	1950	F-M8 1	
305	2	305	105 208 395	115	16.6	4.60	0.83	2450	F-M8 1	
380	2	380	126 208 395	136	20.0	5.80	0.72	2850	F-M8 1	
450	2	450	147 208 395	157	23.3	6.90	0.63	3250	F-M8 1	
550	2	550	126 208 511	136	26.7	8.10	0.63	3250	F-M8 1	
660	2	660	147 208 511	157	31.0	9.30	0.56	3650	F-M8 1	
765	2	765	168 208 511	178	35.4	10.8	0.50	4100	F-M8 1	
985	2	985	147 208 686	157	43.9	13.0	0.47	4350	F-M8 1	
1080	2	1080	147 208 686	157	47.2	12.8	0.43	4800	F-M8 1	
1320	2	1320	212 193 686	222	59.9	17.1	0.30	6800	F-M8 2	
1410	2	1410	212 193 686	222	63.4	16.8	0.27	7500	F-M8 2	
1650	2	1650	212 235 686	222	73.2	21.7	0.26	7900	F-M8 2	
1990	2	1990	212 277 686	222	86.4	26.1	0.23	8900	F-M8 2	
2350	2	2350	212 277 836	222	108	33.7	0.24	8500	F-M8 2	
2500	2	2500	212 277 836	222	114	32.7	0.22	9300	F-M8 2	
3100	2	3100	215 400 812	225	151	50.0	0.16	12800	F-M8 3	
3350	2	3350	215 400 812	225	158	48.0	0.14	14600	F-M8 3	
3850	2	3850	215 490 812	225	184	60.0	0.12	17000	F-M8 4	
4100	2	4100	215 490 812	225	191	58.0	0.11	17800	F-M8 4	
4600	2	4600	215 580 812	225	217	71.0	0.11	18600	F-M8 4	

\*La altura indicada en la tabla puede diferir dependiendo de los tapones usados.

\*\*Densidad de ácido dN = 1,24 Kg / l.

Reservado el derecho de cambios sin previo aviso.

## MPPT RS SmartSolar 450|100 y 450|200 - Aislado

Controlador de carga solar 5,76 kW y 11,52 kW con entrada FV de 450 V

[www.victronenergy.com](http://www.victronenergy.com)



MPPT RS SmartSolar 450|100

### Controlador de carga solar con Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT)

El MPPT RS SmartSolar es un controlador de carga solar de 48 V con una entrada FV de hasta 450 VCCFV y una salida de 100 A o 200 A. Se usa en aplicaciones solares aisladas y conectadas a la red en las que se requiere máxima potencia de carga de la batería.

### Varias entradas de seguimiento MPPT independientes

Con varios rastreadores de MPPT, se puede optimizar el diseño de sus paneles solares para obtener el máximo rendimiento en una ubicación concreta.

### Conexiones FV aisladas para más seguridad

El aislamiento galvánico completo entre las conexiones de la batería y FV proporciona seguridad adicional a todo el sistema.

### Amplio rango de tensión MPPT

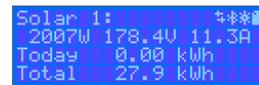
Rango operativo de entre 80 y 450 VCCFV con una tensión de arranque de 120 VCCFV.

### Ligero, eficiente y silencioso

Gracias a su tecnología de alta frecuencia y a su nuevo diseño, el modelo de 100 A de este potente cargador solo pesa 7,9 kg. Además, tiene una eficiencia excelente, bajo consumo de energía en reposo y un funcionamiento muy silencioso.

### Pantalla y Bluetooth

La pantalla muestra parámetros de la batería y del controlador. Se puede acceder a estos parámetros con un smartphone u otro dispositivo con Bluetooth. Además, se puede usar Bluetooth para configurar el sistema y cambiar los parámetros con VictronConnect.



### Vigilancia de la resistencia al aislamiento fotovoltaico para estar tranquilo con tensiones más altas

El MPPT RS vigila continuamente el conjunto FV y puede detectar si hay fallos que reduzcan el aislamiento de los paneles hasta niveles poco seguros.

### Puerto VECan y VEDirect

Permite conectarlo a un dispositivo GX para seguimiento del sistema, registro de datos y actualizaciones de firmware a distancia. El VECan permite conectar hasta 25 unidades juntas en paralelo y sincronizar sus procesos de carga.

### Conexiones I/O

Conexiones de relé programable, sensor de temperatura, auxiliar, entrada digital y sensor de tensión. La entrada remota puede aceptar el smallBMS de Victron y otros tipos de BMS con señal "Permiso de carga".



Interior del MPPT RS SmartSolar 450|100

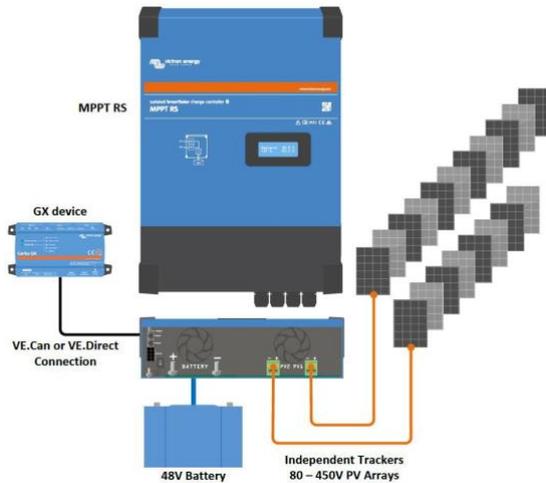
### Configuración y control con VictronConnect →

La conexión integrada Bluetooth Smart permite un rápido seguimiento y ajuste de la configuración.

El historial de 30 días integrado muestra el rendimiento de cada uno de los rastreadores MPPT.

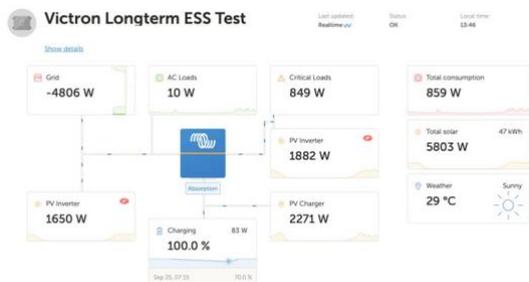
Pruebe la demo de VictronConnect para ver todo el rango de configuraciones y opciones de pantalla con datos de muestra.





**Diagrama de ejemplo de sistema**  
El MPPT RS de 100 A combinado con un dispositivo GX, cargando una batería de 48 V con dos cadenas FV solares separadas.

**Portal VRM**  
Cuando el MPPT RS esté conectado a un dispositivo GX con conexión a Internet, o al GlobalLink 520 con conectividad 4G integrada, podrá acceder a nuestro sitio web gratuito de seguimiento a distancia (VRM). Le mostrará todos los datos de su sistema en un completo formato gráfico. Se pueden recibir alarmas por correo electrónico.



MPPT RS SmartSolar aislado	450 100	450 200
<b>CARGADOR</b>		
Tensión de la batería	48 V	
Corriente de carga nominal	100 A	200 A
Potencia de carga máxima	5,8 kW a 57,6 V	11,5 kW a 57,6 V
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 57,6 V (regulable)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 55,2 V (regulable)	
Rango de tensión programable	Mínima: 36 V Máxima: 60 V <sup>(7)</sup>	
Algoritmo de carga	Adaptativo multifase (regulable)	
Sensor de temperatura de la batería	Incluido	
Eficiencia máxima	96 %	
Autoconsumo	15 mA	
<b>SOLAR</b>		
Tensión FV CC máxima	450 V	
Tensión de arranque	120 V	
Rango de tensión de trabajo del MPPT	80 – 450 V <sup>(1)</sup>	
Número de rastreadores	2	4
Máxima corriente de entrada operativa FV	18 A por rastreador	
Máxima corriente de corto circuito FV <sup>(2)</sup>	20 A por rastreador	
Máxima potencia de carga de salida CC	4000 W por rastreador 5760 W total	4000 W por rastreador 11520 W total
Tamaño máximo del conjunto FV por rastreador <sup>(3)</sup>	7200 Wp (450 V x 20 A) <sup>(3)</sup>	
Nivel de fallo del aislamiento FV <sup>(4)</sup>	100 kΩ	
<b>GENERAL</b>		
Funcionamiento en paralelo sincronizado	Sí, hasta 25 unidades con VECAN	
Relé programable <sup>(5)</sup>	Sí	
Protección	Polaridad inversa FV Cortocircuito de salida Sobretemperatura	
Comunicación de datos	Puerto VE.Direct, puerto VECAN y Bluetooth (6)	
Frecuencia Bluetooth	2402 – 2480 MHz	
Potencia Bluetooth	4 dBm	
Puerto de entrada analógico/digital de uso general	Sí, 2	
On/Off remoto	Sí	
Rango de temperatura de trabajo	-40 a +60°C (refrigerado por ventilador)	
Humedad (sin condensación)	máx. 95%	
<b>CARROSA</b>		
Material y color	acero, azul RAL 5012	
Grado de protección	IP21	
Conexión de la batería	Pernos M8	
Terminales de conexión entrada FV	2,5... 16 mm <sup>2</sup>	
Peso	7,9 kg	13,7 kg
Dimensiones (al x an x p) en mm	440 x 313 x 126	487 x 434 x 146
<b>NORMIAS</b>		
Seguridad	EN-IEC 62109-1, EN-IEC 62109-2	
País de origen	Diseñado en los Países Bajos Fabricado en India	

- 1) El rango de funcionamiento del MPPT está limitado por la tensión de la batería - VOCCFV no debe superar la tensión de flotación de la batería multiplicada por 8. Por ejemplo, para una tensión de flotación de 52,8 V, sería una VOCCFV máxima de 422,4 V. Para más información, consulte el manual del producto.
- 2) Una corriente de cortocircuito más alta podría dañar el controlador en caso de que el conjunto FV se haya conectado con polaridad inversa.
- 3) Máximo de 450 VOC resulta en 360 Vmpp aprox., por lo que el conjunto FV máximo es de aprox. 360 V x 20 A = 7200 Wp
- 4) El MPPT RS comprobará si hay suficiente aislamiento resistivo entre FV+ y GND y FV- y GND. En caso de resistencia inferior al umbral, la unidad dejará de cargar, mostrará el error y enviará la señal de error al dispositivo GX (si está conectado) para que se envíe una notificación sonora y por correo electrónico.
- 5) Relé programable que puede configurarse como alarma general, subtensión CC o función de arranque/parada del generador. Capacidad nominal CC: 4 A hasta 35 VCC y 1 A hasta 70 VCC
- 6) Actualmente el MPPT RS no es compatible con las redes VESmart
- 7) El punto de referencia del cargador puede fijarse en un máximo de 60 V. La tensión de salida en los terminales del cargador puede ser mayor, debido a la compensación de temperatura y a la compensación por la caída de tensión en los cables de la batería. La máxima corriente de salida se reduce de forma lineal de corriente completa a 60 V a 5 A a 62 V.

## Axpert MKS III Off-Grid Inverter



- Pure sine wave solar inverter
- Detachable LCD control module with multiple communications
- Wide DC input range
- Built-in Bluetooth for mobile monitoring (Android App is available)
- Supports USB On-the-Go function
- Reserved communication port for BMS (RS485)
- Smart battery charger design for optimized battery performance
- Battery independent function
- Parallel operation up to 9 units

OFF-GRID INVERTER

### Axpert MKS III Off-Grid Inverter Specification

MODEL	Axpert MKS III 5000-48
Rated Power	5000VA/5000W
<b>INPUT</b>	
Voltage	230 VAC
Selectable Voltage Range	170-280 VAC (For Personal Computers) 90-280 VAC (For Home Appliances)
Frequency Range	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)
<b>OUTPUT</b>	
AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	230 VAC ± 5%
Overload capacity	5s@≥150% load; 10s@110%~150% load; 100ms @ ≥200% load
Efficiency (Peak)	93 %
Transfer Time	15 ms (For Personal Computers) 20 ms (For Home Appliances)
Waveform	Pure sine wave
<b>BATTERY</b>	
Battery Voltage	48 VDC
Floating Charge Voltage	54 VDC
Overcharge Protection	66 VDC
<b>SOLAR CHARGER &amp; AC CHARGER</b>	
Solar Charger Type	MPPT
Maximum PV Array Power	5000 W
MPPT Range @ Operating Voltage	120 ~ 430 VDC
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	450 VDC
Maximum Solar Charge Current	80 A
Maximum AC Charge Current	80 A
<b>PHYSICAL</b>	
Dimension, D x W x H (mm)	140 x 295 x 468
Net Weight (kgs)	12.0
Communication Interface	USB, RS232, RS485, Bluetooth
<b>ENVIRONMENT</b>	
Humidity	5% to 95% Relative Humidity (Non-condensing)
Operating Temperature	-10°C to 50°C
Storage Temperature	-15°C to 60°C

Product specifications are subject to change without further notice.

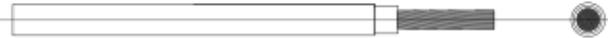


# TOPSOLAR<sup>®</sup> PV H1ZZZ2-K

TÜV solar PV cable.

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

## DESIGN



### Conductor

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

### Insulation

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

### Outer sheath

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

## APPLICATIONS

The Topsolar<sup>®</sup> PV H1ZZZ2-K cable, which is TÜV certified according to IEC 62930 and EN 50618, is suitable for both fixed and mobile solar installations (solar farms, rooftop solar installations and floating plants).

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

- Solar PV installations - string cable.

PV WIRE ALSO  
AVAILABLE



More information at: [www.topcable.com](http://www.topcable.com)

TOPSOLAR<sup>®</sup> PV H1ZZZ2-K

SOLAR CABLES

EN 2020 E D 0 0 1



## FEATURES

- ⚡ Electrical performance**  
 Low voltage 1,5/1,5 1kV (1,8) kV DC.  
 1,0/1,0 kV (U<sub>0</sub>/U).
- 📄 Based on**  
 EN 50618/ IEC 62930 / UTE C 32-502.
- 🔄 Standards and approvals**  
 TÜV / RETIE / RoHS / CE.
- 🏗️ CPR (Construction Products Regulation)**  
 C<sub>ca</sub> -s1b, d2, a1.
- 🌡️ Thermal performance**  
 Maximum service temperature: 120°C.  
 Maximum short-circuit temperature: 250°C (max. 5 s).  
 Minimum service temperature: -40°C (fixed and protected installations).
- 🔥 Fire performance**  
 Flame non-propagation based on EN 60332-1 and IEC 60332-1-2.  
 Fire non-propagation based on EN 50399.  
 Reaction to fire CPR: C<sub>ca</sub> -s1b, d2, a1, according to EN 50575.  
 LSHF (Low Smoke Zero Halogen) based on UNE-EN 60754-1 and IEC 60754-1.  
 Low smoke emission based on EN 61034 and IEC 61034: Light transmittance > 60%.  
 Low corrosive gases emission based on UNE-EN 60754-2 and IEC 60754-2.
- 📏 Mechanical performance**  
 Minimum bending radius: x5 cable diameter.  
 Impact resistance: AG2 Medium severity.
- 🧴 Chemical performance**  
 Chemical & Oil resistance: Excellent.  
 Grease & mineral oils resistance: Excellent.  
**UV** UV Resistant based on EN 50618.  
**O<sub>3</sub>** Ozone resistant based on EN 50618.
- 💧 Water performance**  
 Water presence: AD8 submerged.
- 🕒 Other**  
 Meter by meter marking.  
 Estimated lifetime 25 years based on EN 50618.  
 Optional: rodent proof and termite proof.
- 🔧 Installation conditions**  
 Open Air.  
 Buried.  
 On conduit.
- 📦 Packaging**  
 Available in rolls (lengths of 100 m) and reels.

More information at: [www.topcable.com](http://www.topcable.com)

## SOLAR CABLES

TOPSOLAR® PV  
HIZZZZ-K



TOPSOLAR® PV  
HIZZZZ-K DUAL



TOPSOLAR® PV  
AL 1500 V



TOPSOLAR® PV  
AL 2kV PV WIRE



Zertifikat		Certificate			
Zertifikat Nr. / Certificate No.	R 60113828	Blatt / Page	0001		
Ihr Zeichen / Client Reference	0010--21243325	Unser Zeichen / Our Reference	001	Ausstellungsdatum / Date of Issue	13.10.2016 (day/mon/yr)
Genehmigungsinhaber / License Holder		Fertigungsstätte / Manufacturing Plant			
TOP CABLE S.A. P.A.E. Can Sant Joan Leonardo da Vinci 1 08191 Rubi - Barcelona Spain		AKAN Cables S.L. P.L. Plans de la Sala, Parcela 11 08650 Barcelona Spain			
Prüfzeichen / Test Mark		Geprüft nach / Tested acc. to			
		EN 50618:2014			
Zertifiziertes Produkt (Geräteidentifikation) Certified Product (Product Identification)			Lizenzentgelte - Einheit License Fee - Unit		
<u>PV-Cables</u>					
Identification:	TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K	16			
Code designation:	H1Z2Z2-K				
Rated diameter:	2,5 mm <sup>2</sup> ; 4,0 mm <sup>2</sup> ; 6,0 mm <sup>2</sup> ; 10,0 mm <sup>2</sup> ; 16,0 mm <sup>2</sup> ; 25,0 mm <sup>2</sup>				
Rated voltage:	AC U0/U 1,0/1,0 kV				
Rated voltage:	DC 1500 V (conductor-conductor and conductor-earth)				
Max. permitted voltage:	DC 1,8 kV				
Light transmission:	82,1 %				
Ambient temperature:	-40 °C to +90 °C				
max. Core temperature:	+120 °C @ 20.000 h				
Material of Insulation:	Halogene Free thermosetting rubber				
Material of Sheath:	Halogene Free thermosetting rubber				
Colour of Sheath:	black				
			16		
<p><small>Dem Zertifikat liegt unsere Prüf- und Zertifizierungsordnung zugrunde und es bestätigt die Konformität des Produktes mit den oben genannten Standards und Prüfgrundlagen. Zusätzliche Anforderungen in Ländern, in denen das Produkt in Verkehr gebracht werden soll, müssen zusätzlich betrachtet werden. Die Herstellung des zertifizierten Produktes wird überwacht. This certificate is based on our Testing and Certification Regulation and states the conformity of the product with the standards and testing requirements as indicated above. Any additional requirements in countries where the product is going to be marketed have to be considered additionally. The manufacturing of the certified product is subject to surveillance.</small></p>					
TÜV Rheinland LGA Products GmbH, Tillystraße 2, 90431 Nürnberg Tel: +49 221 806-1371 e-mail: cert-validity@de.tuv.com Fax: +49 221 806-3935 http://www.tuv.com/safety					

PROTECCIONES DC

## Fusible MAXGE gM 10x38mm Max 1000V DC



### Parámetros técnicos

Tensión Nominal:	1000V DC
Dimensiones:	Ø11x38 mm
Fusible:	Si
Garantía:	3 Años.
Certificados:	CE & RoHS
Marca:	MAXGE

### Descripción del producto

**El Fusible** está compuesto por metal de bajo punto de fusión, **preparado para fundirse cuando la intensidad de corriente supere el valor definido** o cuando se produzca un cortocircuito, protegiendo de esta manera la instalación y los dispositivos conectados aguas abajo. La tensión máxima de funcionamiento es de 1000V DC y mide 10x38mm.

Complementa la instalación eléctrica de cualquier espacio con las diferentes tomas, cofrets, adaptadores y material eléctrico del amplio catálogo que te ofrecemos en efectoLED.

Referencia:

- 10A - MG10PV10
- 16A - MG10PV16
- 20A - MG10PV20
- 25A - MG10PV25
- 32A - MG10PV32



# SIEMENS

Data sheet

5SP3791



Main miniature circuit breaker (SHU), selective, 1-pole, 100 A

<b>Model</b>	
product brand name	SENTRON
product designation	Miniature circuit breaker
design of the product	Main miniature circuit breaker
<b>General technical data</b>	
number of poles	1
tripping characteristic class	E
mechanical service life (switching cycles) / typical	20 000
overvoltage category	IV
degree of pollution	3
<b>Voltage</b>	
insulation voltage (U <sub>i</sub> ) / rated value	690 V
surge voltage resistance / rated value	6 kV
<b>Supply voltage</b>	
supply voltage / at AC / rated value	230 V
operating voltage / rated value	
• minimum	110 V
• maximum	440 V
<b>Protection class</b>	
protection class IP	IP20, with connected conductors
<b>Switching capacity</b>	
switching capacity current	
• rated value	25 kA
• according to EN 60898 / rated value	25 kA
<b>Dissipation</b>	
power loss [W] / for rated value of the current / at AC / in hot operating state / per pole	14.4 W
<b>Current</b>	
operational current	
• at AC / rated value	100 A
suitability for operation	Residential buildings/infrastructure
<b>Product details</b>	
product component	
• saddle terminals	Yes
product feature	
• properties for main switches in accordance with EN 60204-1	Yes
• sealable	Yes
<b>Display and operation</b>	

display version / for switch position indicator	OFF = green, ON = red	
<b>Connections</b>		
connectable conductor cross-section / solid		
• minimum	2.5 mm <sup>2</sup>	
• maximum	50 mm <sup>2</sup>	
connectable conductor cross-section / stranded		
• minimum	2.5 mm <sup>2</sup>	
• maximum	70 mm <sup>2</sup>	
connectable conductor cross-section / finely stranded / with core end processing		
• minimum	2.5 mm <sup>2</sup>	
• maximum	50 mm <sup>2</sup>	
position / of power supply cord	Any	
<b>Mechanical Design</b>		
height	145 mm	
depth	91 mm	
depth / of the enclosure	92 mm	
number of modular width units	2	
fastening method	standard rail	
net weight	487 g	
<b>Environmental conditions</b>		
shock resistance	30 g, at least 3 impacts, impact duration 11 ms	
vibration resistance / according to IEC 60068-2-6	2 g, 20 frequency cycles 5 to 150 to 15 Hz	
ambient temperature / during operation		
• minimum	-25 °C	
• maximum	55 °C	
ambient temperature / during storage		
• minimum	-40 °C	
• maximum	70 °C	
<b>Certificates</b>		
reference code		
• according to EN 61346-2	F	
• according to IEC 81346-2	F	
General Product Approval	Declaration of Conformity	other

[Confirmation](#)



[UK Declaration of Conformity](#)



[Miscellaneous](#)

**Further information**

Information- and Downloadcenter (Catalogs, Brochures,...)  
<http://www.siemens.com/lowvoltage/catalogs>  
 Industry Mall (Online ordering system)  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/en/Catalog/product?mlfb=5SP3791>  
 Service&Support (Manuals, Certificates, Characteristics, FAQs,...)  
<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/ps/5SP3791>  
 Image database (product images, 2D dimension drawings, 3D models, device circuit diagrams, ...)  
[http://www.automation.siemens.com/blddb/cax\\_en.aspx?mlfb=5SP3791](http://www.automation.siemens.com/blddb/cax_en.aspx?mlfb=5SP3791)  
 CAx-Online-Generator  
<http://www.siemens.com/cax>  
 Tender specifications  
<http://www.siemens.com/specifications>

# Bibliografía

- [1] <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
- [2] <https://op.europa.eu/webpub/eca/lr-energy-and-climate/es/>
- [3] International Energy Agency, *Renewables 2021 Analysis and Forecast to 2026*,  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ae32253-7409-4f9a-a91d-1493ffb9777a/Renewables2021-Analysisandforecastto2026.pdf>
- [4] Lazard, *Lazard's levelized cost of energy analysis*,  
<https://www.lazard.com/media/451419/lazards-levelized-cost-of-energy-version-140.pdf>
- [5] Referencia [3].
- [6] Rainforest Action Network, *Ranking on Climate Change Fossil Fuel Finance Report 2020*, [https://www.ran.org/wp-content/uploads/2020/03/Banking\\_on\\_Climate\\_Change\\_2020\\_vF.pdf](https://www.ran.org/wp-content/uploads/2020/03/Banking_on_Climate_Change_2020_vF.pdf)
- [7] Referencia [3].
- [8] Renewables 21 Global Status Report, *Global Review Transport página 48*, [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf)
- [9] Referencia [8], *página 48*.
- [10] Referencia [8], *página 50*.
- [11] Referencia [8], *página 119*.
- [12] <https://seia.org/initiatives/solar-investment-tax-credit-itc>

- [13] <https://www.newsweek.com/california-heat-wave-rolling-blackouts-power-outage-electricity-shortage-1526144>
- [14] Energía Solar Fotovoltaica: fundamentos, *apuntes máster EERR J. Mirapeix*, páginas 55, 56.
- [15] Report from the Comission to the European Parliament and the Council on progress of clean energy competitiveness, *European Comission*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0953&from=EN>
- [16] Las energías Renovables en el Sistema Eléctrico Español, *Red Eléctrica de España*, [https://www.ree.es/sites/default/files/publication/2021/06/downloadable/informe\\_renovables\\_2020\\_0.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/publication/2021/06/downloadable/informe_renovables_2020_0.pdf)
- [17] Referencia [14], *página 64*.
- [18] <https://ochocontres.com/energias-renovables/primas-a-las-renovables/>
- [19] BOE - Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, <https://www.boe.es/boe/dias/2008/09/27/pdfs/A39117-39125.pdf>
- [20] Referencia [16]
- [21] Referencia [14], *página 70*.
- [22] Energía y Telecomunicaciones, Asignatura: Energías Renovables, *apuntes J. Mirapeix*, *página 62*.
- [23] Referencia [14], *página 80*.
- [24] Referencia [20], *página 58*.