

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería Industrial

Cálculo de producción fotovoltaica, gestión de la demanda de edificios y repercusión económica y medioambiental de plantas renovables.

Autora: María del Carmen González González

Tutor: Jose Luis Molina Felix

Codirectora: María del Carmen Guerrero Delgado

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Industrial

Cálculo de producción fotovoltaica, gestión de la demanda de edificios y repercusión económica y medioambiental de plantas renovables.

Autora:

María del Carmen González González

Tutor:

Jose Luis Molina Felix

Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Máster: Cálculo de producción fotovoltaica, gestión de la demanda de edificios y repercusión económica y medioambiental de plantas renovables.

Autora: María del Carmen González González

Tutor: Jose Luis Molina Felix

Codirectora: María del Carmen Guerrero Delgado

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2013

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

Querría expresar mi reconocimiento y agradecimiento a todas aquellas personas que, gracias a su colaboración, han contribuido a la realización de este Trabajo Fin de Máster:

En primero lugar, mi sincero agradecimiento a Jose Sánchez Ramos, Jose Luis Molina Felix y María del Carmen Guerrero Delgado, por su consejo, ayuda y dedicación durante el desarrollo de este trabajo.

Con la misma importancia, quiero agradecer y además dedicar a mi familia la realización de este proyecto. Ellos han sido los encargados de proporcionar todos y cada uno de los medios necesarios para realizar mis estudios y siempre me han brindado toda la ayuda posible.

María del Carmen González González

Sevilla, 2019

Resumen

El consumo de energía eléctrica ha crecido enormemente en los últimos años, los combustibles fósiles cada vez son más escasos y el cambio climático es un problema que necesita inmediata solución.

El sector del transporte es el responsable del 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero, así como del deterioro de la calidad del aire. La solución para la descarbonización del sector es la movilidad eléctrica, pues elimina la combustión en los distintos medios de transporte al sustituir los combustibles fósiles por electricidad.

La contribución de la movilidad eléctrica a la descarbonización es tal que podemos decir que sin movilidad eléctrica, no hay transición energética. Sin embargo, las redes eléctricas en España están actualmente saturadas.

Una opción que reduce la saturación de la red eléctrica y que contribuye con el medioambiente es el autoconsumo. El autoconsumo favorece a la descentralización de la producción eléctrica y da más protagonismo al consumidor, que ya no solo puede gestionar su demanda de energía, sino que además puede autoproducirse una parte de la que necesita e incluso vender los posibles excedentes.

Este proyecto consiste en un estudio fotovoltaico, en el cual se plantean distintas opciones de plantas generadoras fotovoltaicas para tres casos distintos de demanda de edificios, en este caso, destinados a la recarga de coches eléctricos. De manera que no solo se tendrá en cuenta que tipo de planta fotovoltaica es la más recomendable para cada tipo de consumo eléctrico, sino que también se demuestran los beneficios económicos y medioambientales que supone optar por una instalación renovable.

Índice

Agradecimientos	7
Resumen	9
Índice	11
Índice de Tablas	13
Índice de Figuras	15
1 Introducción	19
1.1 <i>Cambio climático y transición energética.</i>	19
1.2 <i>Movilidad eléctrica y saturación de la red eléctrica en España</i>	25
1.3 <i>RD 244/2019</i>	28
1.4 <i>Coches eléctricos</i>	29
1.5 <i>Energía solar fotovoltaica</i>	30
1.6 <i>Paneles solares</i>	31
1.7 <i>Baterías</i>	34
1.8 <i>Inversor</i>	37
1.9 <i>Recarga de coches eléctricos con energía solar</i>	38
1.10 <i>Proyectos existentes</i>	38
1.11 <i>Alcance del proyecto</i>	39
2 Producción Solar Fotovoltaica	41
2.1 <i>Radiación</i>	41
2.2 <i>Zonas climáticas</i>	43
2.3 <i>Valores de producción FV</i>	48
2.3.1 <i>Modelo simplificado para la evaluación del rendimiento energético de los módulos fotovoltaicos</i>	48
2.3.2 <i>Aplicación del modelo</i>	54
3 Recarga de vehículos eléctricos para tres casos de demanda	61
3.1 <i>Conectores</i>	61
3.2 <i>Tipo de recarga</i>	61
3.3 <i>Modos de carga</i>	62
3.4 <i>Dimensión de una planta FV y Autoconsumo</i>	62
3.5 <i>Cálculo de baterías</i>	65
3.6 <i>Tarifas eléctricas</i>	66
3.7 <i>Instalación conectada a la red</i>	67
3.7.1 <i>Ahorro en término de energía en la factura eléctrica sin baterías</i>	67
3.7.2 <i>Ahorro en término de energía con baterías</i>	71
3.7.3 <i>Comparativa del uso de energía con y sin baterías</i>	73
3.8 <i>Instalación aislada</i>	77
3.9 <i>Amortización de la instalación conectada a la red</i>	84
3.9.1 <i>Influencia del tamaño de la planta</i>	89
3.9.2 <i>Influencia de la ubicación</i>	92

3.9.3	Influencia del tipo de factura	96
3.9.4	Influencia del tamaño del banco de baterías	99
3.10	<i>Ahorro en emisiones de CO2</i>	102
4	Bibliografía	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modalidades de consumo.	28
Tabla 2. Ficha técnica de los paneles. SUNTECH de 325 Wp.	33
Tabla 3. Ficha técnica de las baterías BYD de 2,5 kW.	36
Tabla 4. Ficha técnica del inversor SMA Sunny Tripower 5000TL.	37
Tabla 5. Zonas climáticas. Fuente: El documento básico HE de ahorro de energía.	44
Tabla 6. Radiación solar incidente sobre el módulo fotovoltaico en Cádiz.	46
Tabla 7. Radiación solar incidente sobre el módulo fotovoltaico en cada zona climática.	47
Tabla 8. Número de cada tipo de dispositivo en la muestra de los fabricantes analizados por intervalos de potencia.	53
Tabla 9. Datos para la aplicación del modelo de generación fotovoltaica.	54
Tabla 10. Fórmulas para la aplicación del modelo de generación fotovoltaica.	55
Tabla 11. Coeficientes para la aplicación del modelo de generación fotovoltaica.	55
Tabla 12. Datos archivos .MET.	55
Tabla 13. Corrección de producción solar fotovoltaica por irradiancia.	56
Tabla 14. Corrección de producción solar fotovoltaica por temperatura.	57
Tabla 15. Intensidad real que circula por cada string.	58
Tabla 16. Voltaje real que circula por cada string.	59
Tabla 17. Energía producida por cada string.	59
Tabla 18. Energía producida por cada string teniendo en cuenta el rendimiento del inversor.	60
Tabla 19. Voltaje de trabajo en función de la potencia de la instalación solar fotovoltaica.	65
Tabla 20. Bancos de baterías contemplados en el proyecto.	65
Tabla 21. Precio periodo tarifa: 2.1 A endesa enero 2019.	66
Tabla 22. Precio periodo tarifa: 3.0 A endesa enero 2019.	66
Tabla 23. Precio periodo tarifa: 3.1 A endesa enero 2019.	67
Tabla 24. Precio periodo tarifa: 6.1 A endesa enero 2019.	67
Tabla 25. Suposiciones para el cálculo del ahorro en término de energía en la factura eléctrica de un edificio conectado a la red eléctrica sin baterías.	68
Tabla 26. Ahorro en término de energía en la factura eléctrica sin baterías para el Caso 1.	68
Tabla 27. Ahorro en término de energía en la factura eléctrica sin baterías para el Caso 2.	69
Tabla 28. Ahorro en término de energía en la factura eléctrica sin baterías para el Caso 3.	70
Tabla 29. Suposiciones para el cálculo del ahorro en término de energía en la factura eléctrica de un edificio conectado a la red eléctrica con baterías.	71
Tabla 30. Ahorro en término de energía en la factura eléctrica con baterías para el Caso 1.	72
Tabla 31. Ahorro en término de energía en la factura eléctrica con baterías para el Caso 2.	72
Tabla 32. Ahorro en término de energía en la factura eléctrica con baterías para el Caso 3.	73
Tabla 33. Comparativa de la procedencia de la energía con y sin baterías para el Caso 1.	75
Tabla 34. Comparativa de la procedencia de la energía con y sin baterías para el Caso 2.	76
Tabla 35. Comparativa de la procedencia de la energía con y sin baterías para el Caso 3.	77
Tabla 36. Suposiciones para el cálculo de la rentabilidad de una planta solar fotovoltaica de un edificio sin conexión a red con baterías.	77
Tabla 37. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica aislada para el Caso 1.	78
Tabla 38. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica aislada para el Caso 2.	80
Tabla 39. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica aislada para el Caso 3.	82
Tabla 40. Suposiciones para el cálculo de la rentabilidad de una planta solar fotovoltaica de un edificio con conexión a red con baterías.	84
Tabla 41. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica para el Caso 1.	85
Tabla 42. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica para el Caso 2.	86
Tabla 43. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica para el Caso 3.	88
Tabla 44. Suposiciones para el estudio de la influencia del tamaño de una planta solar fotovoltaica con conexión a red.	90
Tabla 45. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 1.	90
Tabla 46. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 2.	91

<i>Tabla 47. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 3.</i>	92
<i>Tabla 48. Suposiciones para el estudio de la influencia de la ubicación de una planta solar fotovoltaica con conexión a red.</i>	92
<i>Tabla 49. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 1.</i>	93
<i>Tabla 50. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 2.</i>	94
<i>Tabla 51. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 3.</i>	95
<i>Tabla 52. Suposiciones para el estudio de la influencia del tipo de factura en un edificio.</i>	96
<i>Tabla 53. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 1.</i>	96
<i>Tabla 54. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 2.</i>	97
<i>Tabla 55. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 3.</i>	98
<i>Tabla 56. Suposiciones para el estudio de la influencia del tamaño del banco de baterías para los tres casos de demanda en edificios con conexión a la red eléctrica.</i>	99
<i>Tabla 57. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 1.</i>	99
<i>Tabla 58. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 2.</i>	100
<i>Tabla 59. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 3.</i>	101
<i>Tabla 60. Ahorro CO2 anual en función de la producción solar.</i>	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de energía exosomática. Fuente: G. Tyler Miller jr. "Living in the environment" 11th ed. brooks/cole, 2000.	19
Figura 2. Consumo de energía y bienestar. Fuente: Informe de naciones unidas human development report, 2006 y de la iea 2004.	19
Figura 3. Disponibilidad de fuentes de energía renovable (y no renovable). Fuente: Profesor Richard Perez, asrc; University of Albany.	20
Figura 4. Efecto Invernadero.	21
Figura 5. El clima y el CO2. Fuente: j.r. Jouzel. Climate and atmospheric history of the past 420.000 years from the vostok ice core in antartica, nature 399.	21
Figura 6. Temperatura Anual.	22
Figura 7. El ciclo del CO2 generado por los humanos. Fuente: El Pais. Carbon global project.	22
Figura 8. El consumo de combustible. Fuente: El Pais. Carbon global project.	23
Figura 9. Evolución prevista de las emisiones de CO2.	24
Figura 10. Fuentes de la generación de electricidad en Europa (2016).	25
Figura 11. El peso del vehículo eléctrico en el crecimiento del mercado en china, europa, japon y norteamérica. Fuente: Bnef.	26
Figura 12. Evolución de la tramitación de los procedimientos de acceso y conexión de la generación eólica y solar fotovoltaica. Fuente: REE.	26
Figura 13. Porcentaje de nudos sin capacidad en cada comunidad autónoma. Fuente: REE.	27
Figura 14. Uso del espacio en vehículo eléctricos para la incorporación de baterías.	30
Figura 15. Captador solar.	31
Figura 16. Funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos.	32
Figura 17. Capas de un panel solar fotovoltaico.	32
Figura 18. Paneles monocristalinos y policristalinos.	33
Figura 19. Baterías de plomo.	34
Figura 20. Armario de baterías BYD de 10 kW.	36
Figura 21. Inversor Sunny Tripower 5000TL.	37
Figura 22. Recarga de coches eléctricos con energía solar.	38
Figura 23. Diagrama de flujo: Alcance del proyecto.	40
Figura 24. Horas de producción solar fotovoltaica. Elaboración propia: datos sacados de la comisión europea, programa PVGIS.	41
Figura 25. Oblicuidad elíptica de la tierra.	42
Figura 26. Ángulos de posición de una superficie: posición del receptor (inclinación, δ , y azimut, α) y ángulo de incidencia de los rayos solares. Fuente: Eduardo Lorenzo, (2004). Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos, volumen ii.	43
Figura 27. Radiación solar en España. Fuente: ADRESE.	48
Figura 28. Circuito equivalente de células solares.	49
Figura 29. Curva característica de una célula solar en condiciones estándar.	50
Figura 30. Paquete de 5,2 kWp compuesto por 16 paneles de 325 Wp.	54
Figura 31. Conector Mennekes.	61
Figura 32. Conector único combinado o CCS.	61
Figura 33. Modos de carga de un coche eléctrico.	62
Figura 34. Horas de producción solar fotovoltaica. Elaboración propia: datos sacados de la comisión europea, programa PVGIS.	63
Figura 35. Autoconsumo: caso ideal.	64
Figura 36. Autoconsumo: generación > demanda.	64
Figura 37. Autoconsumo: generación < demanda.	64
Figura 38. Periodos tarifa 3.0 A.	66
Figura 39. Periodos tarifa 3.1 A.	67
Figura 40. Periodos tarifa 6.1 A.	67
Figura 41. Procedencia de la energía sin baterías para el Caso 1.	74
Figura 42. Procedencia de la energía con baterías para el Caso 1.	74

<i>Figura 43. Procedencia de la energía sin baterías para el Caso 2.</i>	75
<i>Figura 44. Procedencia de la energía con baterías para el Caso 2.</i>	75
<i>Figura 45. Procedencia de la energía sin baterías para el Caso 3.</i>	76
<i>Figura 46. Procedencia de la energía con baterías para el Caso 3.</i>	76
<i>Figura 47. Relación entre los años de amortización y el % cobertura para el Caso 1 aislado.</i>	78
<i>Figura 48. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 1 aislado.</i>	79
<i>Figura 49. Relación entre los años de amortización y el % cobertura para el Caso 2 aislado.</i>	80
<i>Figura 50. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 2 aislado.</i>	81
<i>Figura 51. Relación entre los años de amortización y el % cobertura para el Caso 3 aislado.</i>	83
<i>Figura 52. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 3 aislado.</i>	83
<i>Figura 53. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 1 conectado a la red eléctrica.</i>	85
<i>Figura 54. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 2 conectado a la red eléctrica.</i>	87
<i>Figura 55. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 3 conectado a la red eléctrica.</i>	89
<i>Figura 56. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 1.</i>	90
<i>Figura 57. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 2.</i>	91
<i>Figura 58. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 3.</i>	92
<i>Figura 59. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 1.</i>	93
<i>Figura 60. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 2.</i>	94
<i>Figura 61. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 3.</i>	95
<i>Figura 62. Radiación solar en España. Fuente: ADRESE.</i>	96
<i>Figura 63. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 1.</i>	97
<i>Figura 64. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 2.</i>	98
<i>Figura 65. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 3.</i>	99
<i>Figura 66. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 1.</i>	100
<i>Figura 67. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 2.</i>	101
<i>Figura 68. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 3.</i>	102
<i>Figura 69. Ahorro CO2 anual en función de la producción solar.</i>	103
<i>Figura 70. Ahorro CO2 durante la vida útil de los paneles solares fotovoltaicos.</i>	103

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Cambio climático y transición energética.

El consumo de energía crece desmesuradamente. La energía que consumimos hoy en día es 100 veces mayor a la consumida en las sociedades más primitivas.

La energía exosomática es la de fuera de nuestro propio cuerpo, energía que no tiene que ver con los alimentos que ingerimos. Los alimentos que consumimos suelen ser del orden de unas 2.000-2.500 kcal al día.

En la figura 1 se puede observar la evolución a lo largo del tiempo del consumo de energía en kcal por persona y día desde las civilizaciones más primitivas hasta las actuales.



Figura 1. Consumo de energía exosomática. Fuente: G. Tyler Miller jr. "Living in the environment" 11th ed. brooks/cole, 2000.

También es interesante estudiar la distribución espacial de ese consumo de energía (figura 2).

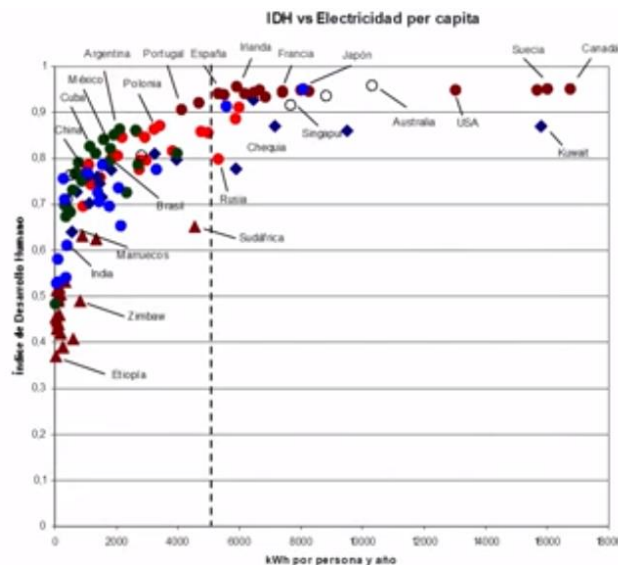


Figura 2. Consumo de energía y bienestar. Fuente: Informe de naciones unidas human development report, 2006 y de la iea 2004.

En esta figura se puede observar el índice de desarrollo humano elaborado por las naciones unidas, que tiene que ver con cosas que influyen en el bienestar de las personas: educación, sanidad, seguridad...

El eje vertical representa el bienestar de 0 a 1 de los habitantes de cada país. Mientras que el eje horizontal mide los kWh consumidos por persona y año.

En los países desarrollados el consumo per cápita no tiene mucho que ver con el índice de desarrollo humano. Es decir, es posible sin afectar al bienestar humano reducir el consumo de energía. Sin embargo, en los países menos desarrollados si es necesario aumentar el consumo para poder alcanzar un estado de bienestar.

El ahorro es posible en algunos países, en otros no. Por lo tanto, en conjunto, la energía consumida globalmente no debería disminuir, ya que lo que unos países no necesitan si lo necesitan otros.

La cantidad de energía necesaria seguirá aumentando en el tiempo. El objetivo está ahora enfocado en la calidad de esa energía, no tanto en la cantidad.

¿De dónde sacamos la energía primaria?

- Combustibles fósiles (86%, petróleo 33%): carbón, petróleo y gas natural.
- Nuclear (5%): fisión y fusión.
- Renovables (9%, hidráulica 6,7%): hidráulica, viento, sol, biomasa, geotermia, olas y mareas.

La energía primaria es aquella energía disponible en la naturaleza, antes de ser convertida o transformada. Existen dos grupos: no renovables (petróleo, carbón, gas y uranio) y renovables (hidráulica, eólica, solar y biomasa)

Tal y como puede observarse en la figura anterior, la mayor parte de la energía primaria obtenida actualmente proviene de combustibles fósiles.

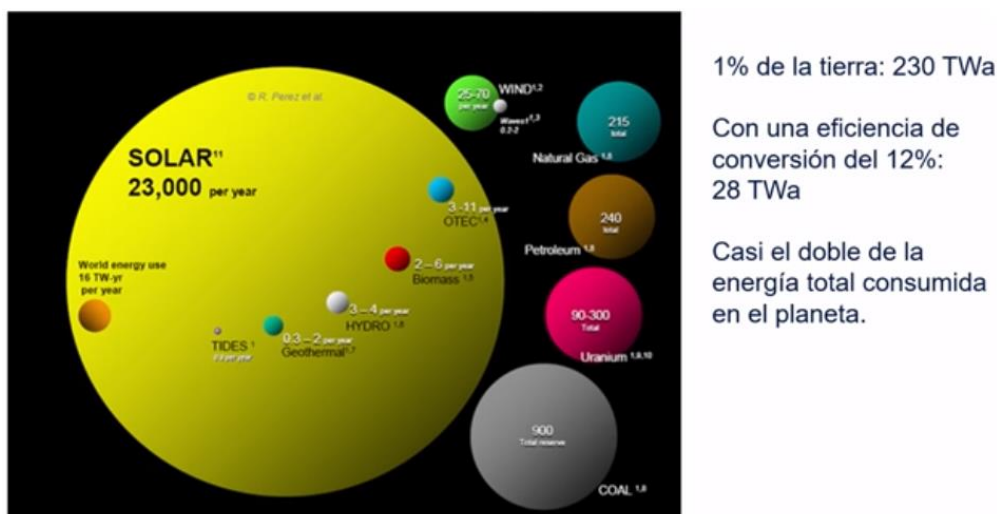


Figura 3. Disponibilidad de fuentes de energía renovable (y no renovable). Fuente: Profesor Richard Perez, asrc; University of Albany.

Estos son los recursos que existen en la naturaleza, la mayor parte es energía solar. La energía solar es con diferencia la más abundante de todas. De hecho, el consumo de energía global de la humanidad supone una cantidad pequeña respecto a la energía solar.

La energía solar es la más abundante y si se aprovechara de manera eficiente sería más que suficiente para colmar las necesidades de energía de la humanidad. Pero es muy difusa, la energía solar depositada sobre un metro cuadrado de terreno es muy pequeña. Por lo tanto, se necesitan grandes superficies para recogerla y después concentrarla y manejarla para convertirla en una energía útil.

Efecto invernadero



Figura 4. Efecto Invernadero.

Toda la energía de los procesos naturales procede del sol. Excepto una pequeña parte, ya que casi toda la energía geotérmica procede bien del calor residual, o bien de materiales radiactivos que están en el interior de la tierra.

El sol emite radiación visible. Esta radiación incide sobre la superficie de la tierra y parte de ella rebota y se disipa en el espacio. La radiación es la responsable del movimiento del agua, del viento, de la vida de las plantas...y luego la tierra que está en equilibrio, emite una cantidad de energía igual que la que ha absorbido, pero de calidad distinta.

La tierra está a una temperatura del orden de 15 grados centígrados y emite en forma de rayos infrarrojos. Una parte de estos rayos infrarrojos rebota en la atmósfera, la atmósfera es casi totalmente transparente para el visible, pero es en parte opaca a la radiación infrarroja.

La opacidad depende del contenido de los gases en la atmósfera, existen gases de efecto invernadero, entre ellos el dióxido de carbono y el metano, que son los responsables de que se produzca este rebote de la radiación infrarroja. Por lo tanto, cuantos más gases de efecto invernadero haya en la atmósfera, más difícil será para la tierra emitir esta radiación al espacio. La temperatura de equilibrio cambia con relación a la cantidad de gases de efecto invernadero, cuantos más gases de este tipo haya, mayor será la temperatura de equilibrio de la Tierra.

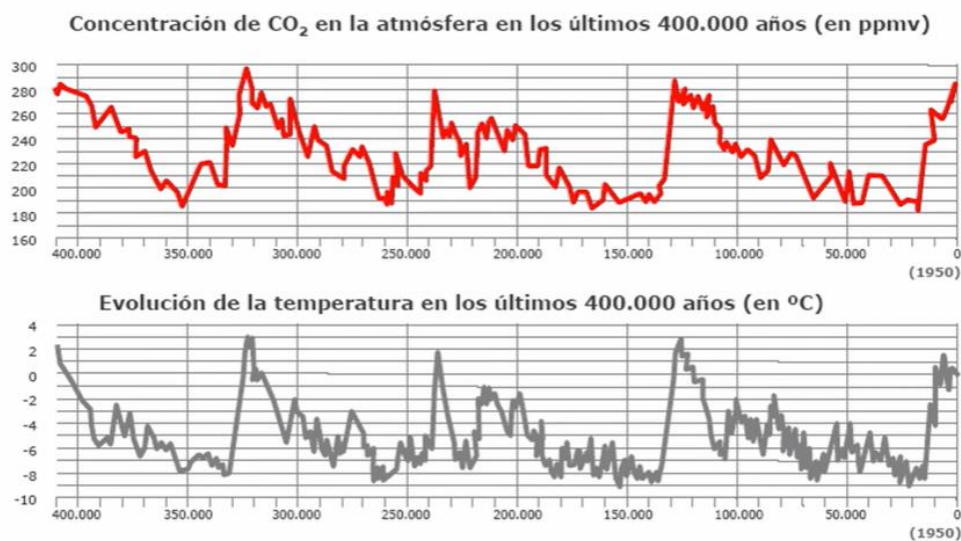


Figura 5. El clima y el CO₂. Fuente: j.r. Jouzel. Climate and atmospheric history of the past 420.000 years from the vostok ice core in antartica, nature 399.

En la figura 5 puede verse cómo ha evolucionado la temperatura en el último medio millón de años y la concentración de CO₂ en la atmósfera. Se ve una correlación entre ambos, los máximos y mínimos en CO₂ y temperatura coinciden.

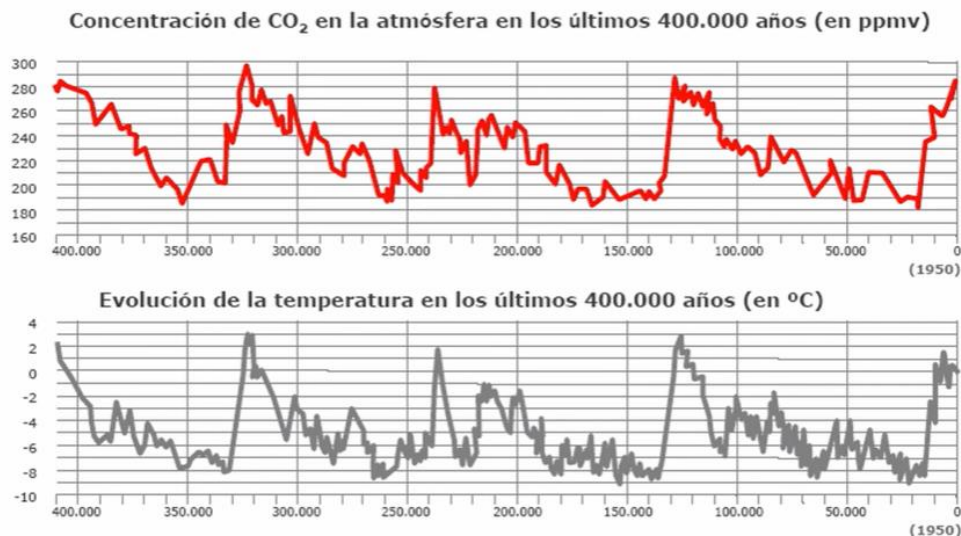


Figura 6. Temperatura Anual.

La figura 6 muestra la temperatura media del planeta. Desde los años 60 hasta ahora, el aumento de temperatura ha sido constante y ha aumentado casi en un grado centígrado.

Este hecho está relacionado con el aumento del contenido de CO₂ en la atmósfera. Las emisiones de CO₂ son debidas por un lado a emisiones de combustibles fósiles e industria (36,8 GT), y, por otro lado, debido a incendios y cambios del uso del suelo (4,7 GT). Parte de estas emisiones se concentran en la atmósfera (45% aproximadamente) y el resto son reabsorbidas por los bosques (30%) y océanos (25%).



Figura 7. El ciclo del CO₂ generado por los humanos. Fuente: El País. Carbon global project.

La cantidad de CO₂ que no es reabsorbido queda en la atmósfera, cuyo valor va aumentando, y es el responsable del cambio climático.

¿Cuál es el origen de las emisiones?

El carbón es el combustible fósil más contaminante con diferencia, porque no solo emite CO₂, sino que además emite otra serie de contaminantes.

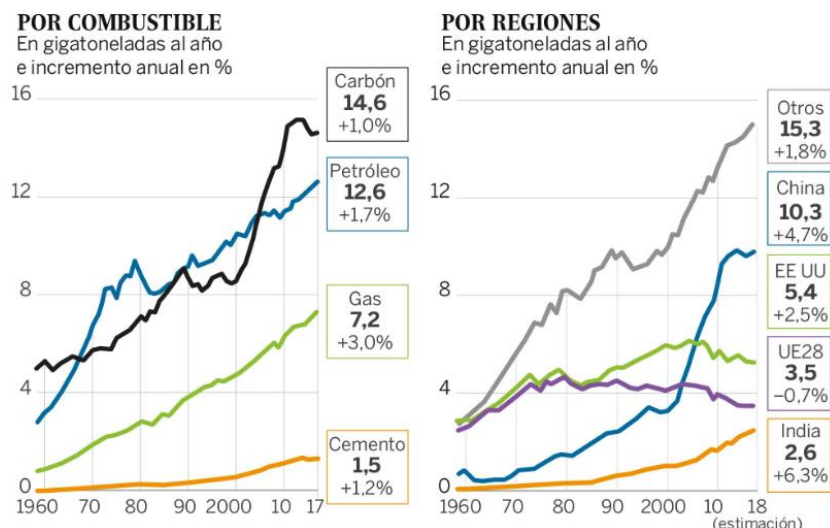


Figura 8. El consumo de combustible. Fuente: El País. Carbon global project.

Desde el año 2000 hasta el 2015 el consumo de carbón ha crecido drásticamente. A pesar de que la primera medida que habría que tomar para intentar lidiar el cambio climático es la supresión del carbón como combustible, es el que más está aumentando.

Este esquema energético no es sostenible. Los combustibles fósiles no son renovables. Son limitados y su extracción será cada vez más difícil y costosa.

Los combustibles fósiles están distribuidos muy desigualmente. Hay muchos países que son productores de petróleo y otros son solo consumidores. Además, generan grandes cantidades de emisiones de CO₂, especialmente el carbón y el petróleo.

Si observamos el origen territorial de las emisiones de CO₂, China es el lugar donde las emisiones han crecido más con diferencia a partir del año 2000, al igual que en la India, aunque más moderado. La subida de emisiones de CO₂ tiene que ver con la utilización intensiva del carbón para producir electricidad. La electricidad en China procede en un 90% del carbón en cuanto a energías primarias se refiere.

Elementos del cambio hacia la sostenibilidad

- Ahorro y eficiencia energética, es decir, actuar sobre la demanda de energía e intentar poner limitaciones en el consumo (en países más desarrollados).
- Menos combustibles fósiles (tendencialmente a cero), y el que puede estar más tiempo es uso sería el gas natural, que dentro de lo que cabe es un poco más limpio que el carbón y el petróleo, por esta razón se le conoce como una energía puente.
- Más renovables
- Mantenimiento de la nuclear mientras no desaparezcan los combustibles fósiles, ya que es una tecnología que no emite, no afecta al clima en particular, pero sí que debe ir desapareciendo en favor de las renovables.

Evaluación prevista de las emisiones de CO₂

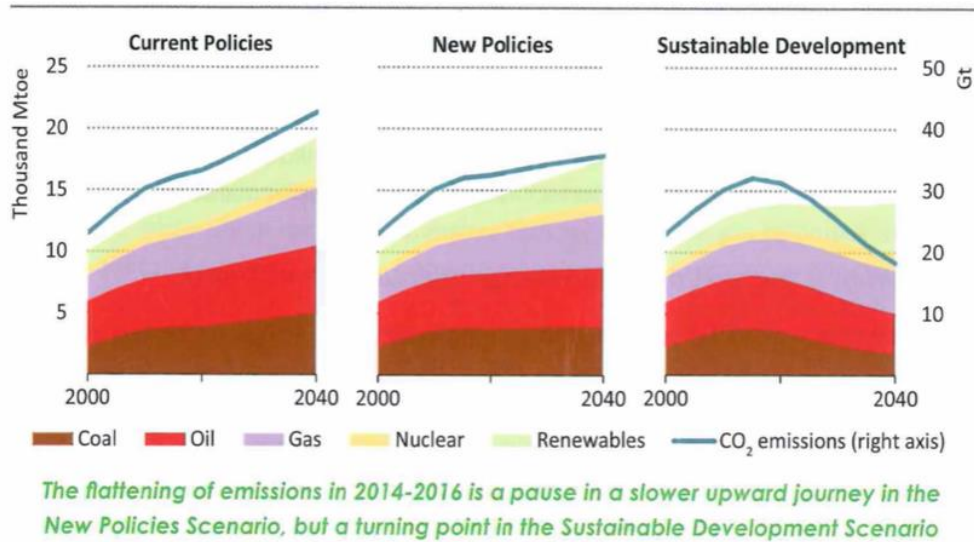


Figura 9. Evolución prevista de las emisiones de CO₂.

En la figura 9 se pueden ver 3 escenarios distintos:

La primera gráfica muestra como evolucionarían las emisiones de CO₂ si no hiciéramos nada al respecto: aumentarían.

La segunda gráfica muestra como evolucionarían las emisiones de CO₂ si se implantaran las nuevas políticas: aumentan menos, prácticamente se estabilizan.

La tercera gráfica representa lo que requeriríamos para un desarrollo sostenible. Cuyo punto de inflexión sería el momento actual. Es a partir de ahora cuando está en juego que tendencia seguir, si ascendente, constante o descendente.

Para pasar de un escenario que se da por asumido, que es teniendo en cuenta que los países van a hacer lo que prometieron respecto de las emisiones, y el escenario sostenible, según la Agencia Nacional de la Energía son necesarias varias cosas:

- El 44% debería provenir de un aumento de la eficiencia en el uso de la energía: producción de la electricidad, transporte...
- El 36% debido al crecimiento de la renovables.
- El resto, de las forestaciones etc.

Fuentes de la generación de electricidad en Europa

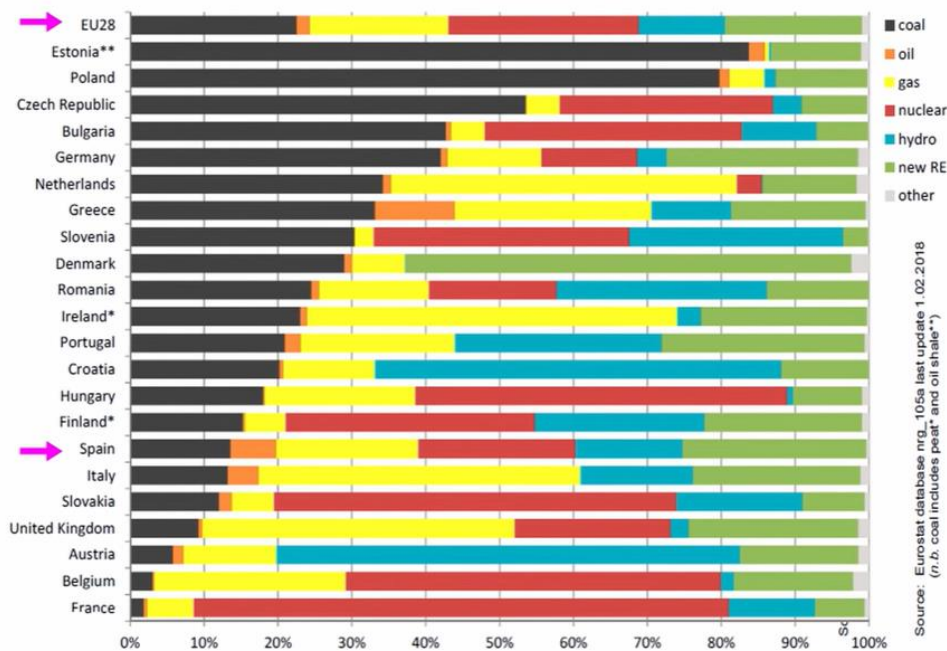


Figura 10. Fuentes de la generación de electricidad en Europa (2016).

Europa ha jugado un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático, pero la situación actual en varios países de Europa es preocupante. La generación de electricidad supone el 40% de la energía primaria, y el carbón, la fuente más emisora y sucia, está presente en toda Europa en un gran porcentaje.

España tiene una estructura muy variada y más equilibrada que en otros países, pero no destaca por hacer uso de gran cantidad de energías renovables.

España es uno de los países de Europa con mayor irradiación solar y, sin embargo, su uso como fuente de energía se ha estancado mientras que en el resto del mundo cada vez más países apuestan por ella.

1.2 Movilidad eléctrica y saturación de la red eléctrica en España

La electrificación del transporte es clave para la descarbonización de la economía en 2050. El sector transporte es responsable del 35% de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero así como del deterioro de la calidad del aire y de los niveles sonoros en las poblaciones.

La solución para la descarbonización del sector es la movilidad eléctrica pues elimina la combustión en los distintos medios de transporte al sustituir los combustibles fósiles por la electricidad. La contribución de la movilidad eléctrica a la descarbonización es tal que podemos decir que sin movilidad eléctrica, no hay transición energética.

El crecimiento del mercado de los coches eléctricos tiene como consecuencia un aumento en la demanda de las redes eléctricas en el país.

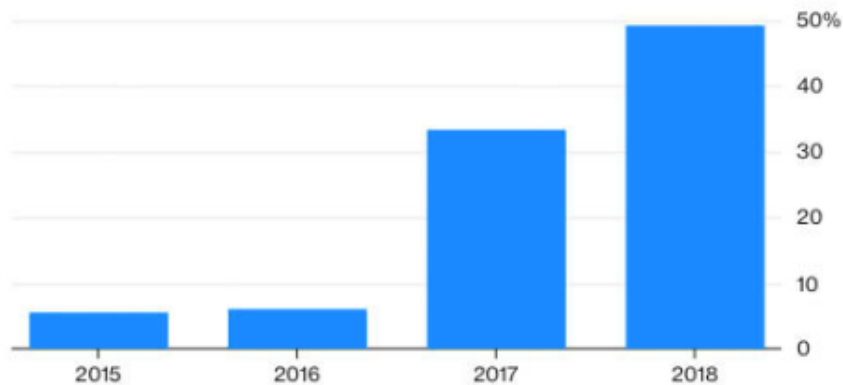


Figura 11. El peso del vehículo eléctrico en el crecimiento del mercado en china, europa, japon y norteamérica. Fuente: Bnef.

Las redes eléctricas en España están actualmente saturadas. Tal y como indican los datos de acceso y conexión en España proporcionados por Red Eléctrica de España, la saturación de la red eléctrica es un problema que afecta ya a nuestro sistema de suministro eléctrico, sin duda, la red eléctrica en España ya no da más de sí.

Evolución de la tramitación de los procedimientos de acceso y conexión de la generación eólica y solar fotovoltaica

Datos nacionales acumulados y su evolución desde marzo a agosto del 2019

Datos nacionales	GW acumulados a 31/08/2019 (% Variación respecto a 31/07/2019)			
	Generación en servicio	Nueva generación - NO en servicio		
		Generación solicitada con permiso de acceso	Generación solicitada sin permiso de acceso con gestión en curso	Generación solicitada y denegada
Eólica	23,6 (0 %)	23,4 (15,3 %)	7 (-22,2 %)	5,8 (0 %)
Solar fotovoltaica	5,3 (3,9 %)	58,3 (26,5 %)	50 (-14,2 %)	32 (28%)
Total	28,9 (0,7 %)	81,7 (23,0 %)	57 (-15,3 %)	37,8 (22,7%)

Figura 12. Evolución de la tramitación de los procedimientos de acceso y conexión de la generación eólica y solar fotovoltaica. Fuente: REE.

Solo durante el mes de agosto, el número de gigavatios (GW) que han solicitado permiso de acceso y conexión han sido de 13 GW, aunque no más que durante el mes de julio, en el cual solicitaron permiso 18 GW. Por lo tanto, solo durante los meses de julio y agosto han aflorado 31 GW de nuevos proyectos, de los cuales la gran mayoría han sido para la instalación de plantas fotovoltaicas.

Tal y como puede observarse en la figura 12, ya se ha autorizado la conexión de 81,7 GW de nuevas instalaciones. De esos 81,7 GW, 23,4 GW serían de eólica y 58,3 GW de solar fotovoltaica. Con esto se conseguiría duplicar la potencia instalada existente de eólica y decuplicar la actual capacidad de fotovoltaica en nuestro país.

Según los datos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2030, con todas estas nuevas instalaciones con permiso de acceso, ya habría suficiente energía renovable para cumplir con el plan verde del Gobierno. Aún así es necesario fomentar la instalación de nuevas energías renovables, y para ello es necesario contar con una infraestructura que permita este crecimiento. Hoy en día, el problema de la

saturación de la red eléctrica es real y los números lo demuestran. En España existe un problema en la capacidad de la infraestructura eléctrica, solo en el mes de agosto se ha rechazado la solicitud de acceso y conexión a 7 GW de proyectos que quieren conectarse a nudos saturados.

Según REE, el 63% de los nudos de conexión a la red eléctrica se encuentran saturados ante los proyectos de generación de nueva potencia renovable que ya tienen el permiso concedido o en trámite.

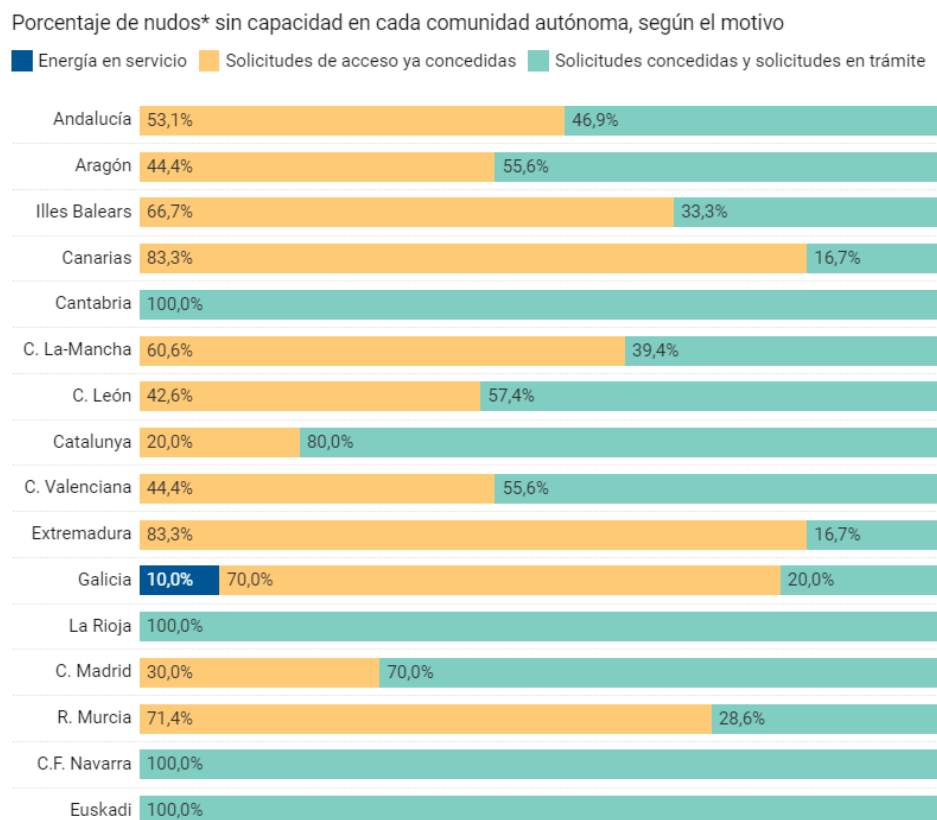


Figura 13. Porcentaje de nudos sin capacidad en cada comunidad autónoma. Fuente: REE.

En total se ha rechazado la instalación de 37,8 GW de instalaciones renovables, de estos 37,8 GW, 32 GW son de fotovoltaica y 5,8 GW son de eólica. Además, cabe destacar que en el mes de agosto todas las instalaciones que han sido rechazadas han sido de instalaciones solares fotovoltaicas. Además, aun están pendiente de concesión 57 GW de renovables (7GW de eólica y 50 GW de fotovoltaica).

La saturación de las redes impide el crecimiento de las energías renovables en nuestro país. La principal causa de los conflictos en los nudos es la falta de infraestructura. Las infraestructuras en España no están preparadas para tanta capacidad.

Sin embargo, el autoconsumo ayudaría a reducir estos problemas, el autoconsumo favorece a la descentralización de la producción eléctrica y da más protagonismo al consumidor, que ya no solo puede gestionar su demanda de energía, sino que además puede autoproducirse una parte de la que necesita e incluso vender los posibles excedentes.

Además, el uso de las baterías favorece aun mas la descongestión de la red eléctrica, ya que favorece el aprovechamiento de la energía generada por la instalación fotovoltaica. Las baterías permiten almacenar y acumular la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos durante las horas de sol, para poder utilizarla durante la noche o los días de poca intensidad solar (nube, niebla...).

1.3 RD 244/2019

Claves de la nueva normativa de Autoconsumo Fotovoltaico (Real Decreto 244/2019):

- 1) Se eliminan tasas.
- 2) El mecanismo de compensación simplificada entre déficits de los autoconsumidores y excedentes de sus instalaciones de producción asociadas.
- 3) Autoconsumo compartido.
 “Se dice que un sujeto consumidor participa en un autoconsumo colectivo cuando pertenece a un grupo de varios consumidores que se alimentan, de forma acordada, de energía eléctrica que proveniente de instalaciones de producción próximas a las de consumo y asociadas a los mismos”
- 4) Sin límites de potencia instalada.
- 5) Producción de tercero: una empresa puede alquilar un espacio y usarlo.

Tipos de Autoconsumo:

- Autoconsumo sin excedentes:

Estas instalaciones cuentan con un equipo de antivertido para garantizar que no se vierta energía eléctrica a la red. Su tramitación administrativa es sencilla.

- Autoconsumo con excedentes:

Son aquellas instalaciones que en ciertos momentos van a mandar energía a la red eléctrica. Dentro de esta modalidad distinguimos dos bloques:

- Bloque 1: Compensación de excedentes.

La energía que no es autoconsumida se vierte a la red, posteriormente la comercializadora es la encargada de restar de la factura la energía vertida a un cierto precio.

El precio depende del precio de PULL y de las ofertas que ofrezca la comercializadora, normalmente oscila entre 4 y 6 céntimos/kWh.

- Bloque 2: Compensación no simplificada.

En este caso, la comercializadora compra la energía sobrante de la instalación solar fotovoltaica a un precio también negociado con el cliente. También oscila entre los 4 y 6 céntimos/kWh.

¿Qué modalidad de autoconsumo es la conveniente?		
Tamaño de la instalación solar fotovoltaica		Modalidad de Autoconsumo
Menor de 15 kW		Compensación de excedentes
Entre 15 kW y 100 kW	Sobrante de energía pequeño	Autoconsumo sin excedentes
	Sobrante de energía regular a lo largo del año	Compensación de excedentes
	Sobrante de energía irregular a lo largo de año	Compensación no simplificada
Superior a 100 kW		Compensación no simplificada (obligatoriamente)

Tabla 1. Modalidades de consumo.

1.4 Coches eléctricos

Historia

Los coches eléctricos no son un invento del siglo XXI. Los motores eléctricos salieron casi al mismo tiempo que los motores impulsados por el petróleo, es decir, aquellos que funcionan con combustible fósil, como el gas o el diésel.

La historia del vehículo eléctrico comienza a mediados del siglo XIX. En 1828, un ingeniero húngaro llamado Ányos Jedlik inventó el primer prototipo del motor eléctrico.

En 1834, el herrero Thomas Davenport creó un dispositivo similar, capaz de desplazarse distancias cortas utilizando una vía eléctrica, parecido a lo que conocemos hoy en día como tranvía.

En los países bajos, un profesor de universidad llamado Sibranus Stratingh, construyó un pequeño automóvil eléctrico que funcionaba con baterías recargables, pero estas baterías de celdas primarias de un solo uso no era una opción viable, eran necesarias demasiadas baterías para hacer funcionar un motor en largas distancias y velocidades muy bajas. No fue hasta 1859, cuando el físico francés Gastón Planté inventó la batería de plomo y ácido que cambió la historia del motor eléctrico.

En 1891, en EEUU se creó el primer vehículo eléctrico capaz de alcanzar los 23 km/h.

En 1890, los taxis eléctricos llenaban las calles de Londres, en ese momento los motores eléctricos presentaban muchas ventajas sobre los motores de vapor y de combustión, y hacia finales de siglo, un mercado incipiente comenzó a desarrollarse en algunos países de Europa y Estados Unidos, y se mantuvo durante las dos primeras décadas del siglo XX. Sin embargo, su alto coste, su baja velocidad máxima y el corto alcance de los vehículos eléctricos con batería, en comparación con los vehículos con motor de combustión interna, produjo un declive a nivel mundial en su uso, a pesar de que los vehículos eléctricos se siguieron utilizando en forma de trenes eléctricos y otros usos aislados.

A comienzos del siglo XXI, el interés por los vehículos eléctricos y otros vehículos de combustible alternativo ha aumentado debido a la creciente preocupación por los problemas asociados con el uso de hidrocarburos en vehículos (que incluyen los daños al medio ambiente causados por sus emisiones) y la sostenibilidad de la actual infraestructura de transporte basada en hidrocarburos, así como a las mejoras en la tecnología de vehículos eléctricos. Desde 2010, las ventas combinadas de todos los coches eléctricos y furgonetas ha alcanzado el millón de unidades vendidas a nivel mundial en septiembre de 2016.

Como funcionan

La principal diferencia entre los coches eléctricos y los propulsados por combustible fósil es que los primeros pueden usar una variedad de fuentes renovables para generar su electricidad. De hecho, la ciencia detrás del coche eléctrico es simple. Su principio básico es la corriente alterna.

Una corriente eléctrica es el movimiento de una carga eléctrica que transporta electrones. Un motor, por ejemplo, puede ser alimentado por una corriente continua, lo que significa que los electrones fluyen en una sola dirección. Por otro lado, los electrones que se mueven a lo largo de una corriente alterna cambian la dirección de manera periódica.

La mayoría de los coches eléctricos convierten la electricidad de corriente continua de las baterías en una corriente alterna. Dado que los coches eléctricos no tienen un motor de combustión interna como los que funcionan con gasolina, usan su espacio de manera muy diferente.

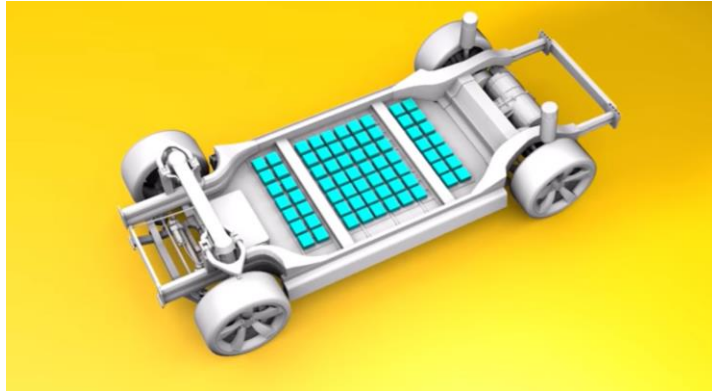


Figura 14. Uso del espacio en vehículo eléctricos para la incorporación de baterías.

Los coches eléctricos poseen unas 7.000 baterías de litio debajo del piso, este paquete de baterías tiene una vida útil más larga y mayor densidad de potencia. El coche eléctrico tiene una gran debilidad, el sobrecalentamiento y las averías térmicas. Por esta razón, los coches eléctricos tienen un refrigerante que corre dentro de ellos para evitar el sobrecalentamiento.

En la parte trasera se encuentra el inversor y el motor de inducción, el cual toma la corriente alterna que viene del inversor y crea un campo magnético haciendo que el motor gire.

Los coches eléctricos no tienen ni caja de cambios ni palanca y todos son automáticos, tienen una transmisión de una sola velocidad que envía energía desde el motor de inducción a las ruedas, así es como el motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

Cuando el coche eléctrico acelera, este consume más energía, pero cuando frena, la energía se transforma en electricidad a través del motor de inducción, luego esa electricidad viaja hasta el paquete de baterías y se almacena.

Ventajas

El coste de carga de un coche eléctrico es barato, cargar completamente el coche cuesta menos de 5 euros y es posible obtener hasta 240 km con una sola carga. Además, los coches eléctricos son más fáciles de mantener y manejar si los comparamos con los vehículos que funcionan con combustible fósil, pero no se puede negar que el precio de los coches eléctricos es mucho más alto. Aunque este precio se amortiza a lo largo de los años.

Los vehículos eléctricos son una estrategia para abordar las emisiones del combustible y reducir la contaminación. El responsable de la investigación automovilística en Europa predice que en 2025 todos los coches en Europa serán totalmente eléctricos o al menos híbridos, y muchos países están fijándose metas para reducir sus emisiones de combustible en los próximos años

1.5 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene a través de la transformación de la radiación solar en energía eléctrica.

Beneficios:

- Renovable
- Inagotable
- No contaminante

- Dimensionable, desde grandes plantas a sistemas domiciliarios
- Apta para zonas rurales o aisladas
- Contribuye al desarrollo sostenible
- Fomenta el empleo local

1.6 Paneles solares

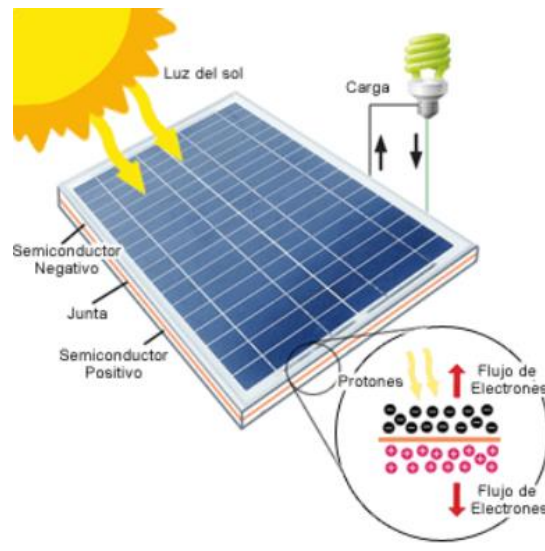


Figura 15. Captador solar.

Los paneles fotovoltaicos están formados por módulos, y estos a su vez por células fotovoltaicas.

La energía del sol es la más abundante y absolutamente libre y disponible en el planeta, para utilizar esta energía también se necesita uno de los elementos más abundantes de la tierra, la arena.

La arena tiene que ser convertida a cristales de silicio con una pureza del 99,999% para su uso en celdas solares. Para conseguirlo, la arena tiene que pasar por un complejo proceso de purificación. El silicio en bruto se convierte en una forma compuesta de silicio gaseoso, luego se mezcla con hidrógeno para obtener silicio policristalino altamente purificado. Estos lingotes de silicio se remodelan y se convierten en láminas muy finas llamadas obleas de silicio. La oblea de silicio es el corazón de una celda fotovoltaica.

Para producir corriente y que los electrones fluyan unidireccionalmente al recibir la radiación solar, es necesaria una fuerza motriz. Una forma fácil y práctica de generar una fuerza motriz es una unión p-n.

Si inyectas boro con tres electrones de valencia en el silicio puro habrá un agujero para cada átomo, esto se llama dopaje tipo P y si inyectas en otra capa átomo de fósforo con cinco electrones de valencia se obtiene la capa tipo N. Si estos dos tipos de materiales dopados se unen, algunos electrones del lado N migrarán a la región P y llenarán los huecos disponibles allí. De esta forma se genera una región de agotamiento, donde no hay ni electrones libres ni agujeros.

Debido a la migración de electrones, el límite del lado N se carga positivamente y el lado P se carga negativamente, esto provocará un campo electromagnético entre las cargas. Este campo eléctrico genera la fuerza motriz necesaria.

Cuando la luz golpea el cruce p-n, la luz llega hasta la región de agotamiento, esta región fotónica es suficiente para generar pares de agujeros de electrones en la región de agotamiento, el campo eléctrico en la región de agotamiento impulsa los electrones y los agujeros fuera de la región de agotamiento, aquí la concentración de electrones en la región N y los agujeros en la región P se vuelven tan altos que se desarrolla una diferencia de potencial entre ellos. Tan pronto como se conecta cualquier carga entre estas

regiones, los electrones comienzan a fluir a través de la carga, los electrones se recombinan con los agujeros en la región P después de completar su trayectoria, de este modo una celda solar continuamente suministra corriente directa.

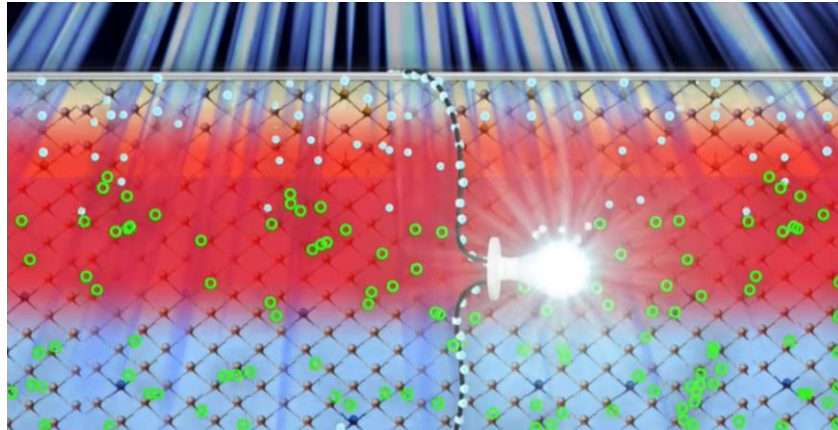


Figura 16. Funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos.

En una práctica celda solar se puede ver que la capa superior N es muy delgada y muy dopada, mientras que la capa P es gruesa y ligeramente dopada. Esto es para aumentar el rendimiento de la celda. Esto genera una región de agotamiento de mayor tamaño y da como resultado una mayor generación de corriente por parte de la celda fotovoltaica. La otra ventaja, es que debido a la delgada capa N, más energía luminosa puede llegar a la región de agotamiento.

Además, un panel solar está compuesto por diferentes capas, una de ellas es una capa de celdas.

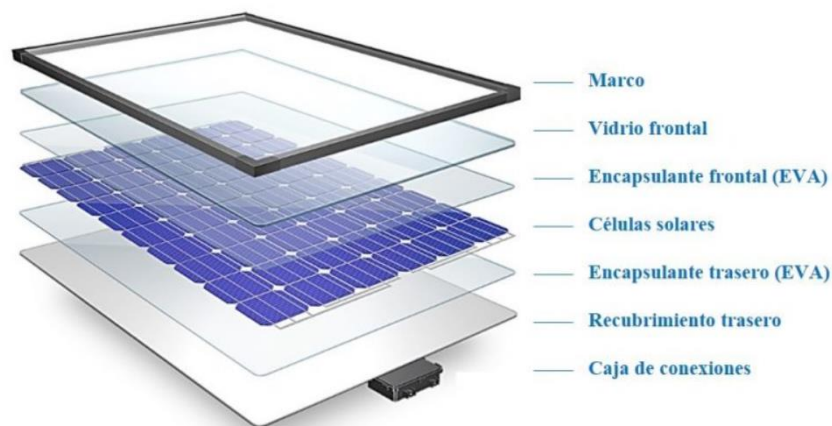


Figura 17. Capas de un panel solar fotovoltaico.

Los electrones se acumulan en las barras colectoras de las celdas fotovoltaicas. El lado superior negativo de cada celda está conectado con el lado posterior de la celda siguiente a través de tiras de cobre, de esta forma se genera una conexión en serie. Cuando las conexiones en serie se conectan en paralelo se obtiene el panel solar. Una sola celda fotovoltaica produce alrededor de 0,6 V.

Las láminas de EVA a ambos lados de las celdas son para protegerlas de golpes, vibraciones, humedad y suciedad.

Existen dos tipos de apariencia para los paneles solares, esto se debe a la diferencia en la estructura interna de la red cristalina. En los paneles solares policristalinos los cristales están orientados al azar, por otro lado, las celdas monocristalinas ofrecen una mayor conductividad eléctrica, pero son más costosas.

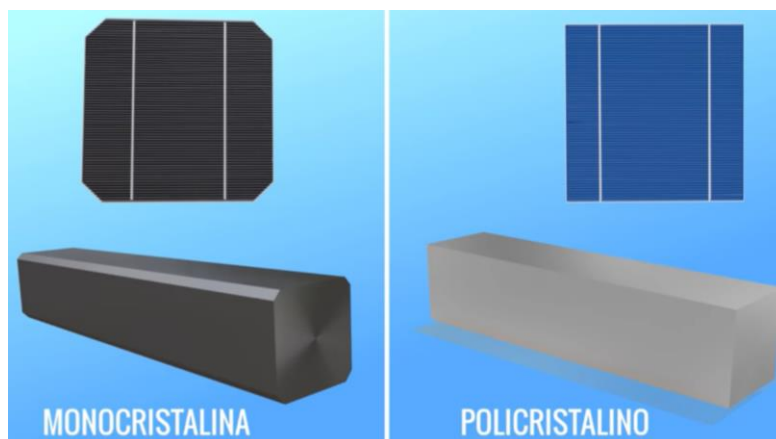


Figura 18. Paneles monocristalinos y policristalinos.

Para la elaboración de este proyecto se han elegido paneles SUNTECH de 325 Wp.

Características del modulo solar policristalino:

- Alta eficiencia de conversión del modulo: eficiencia del modulo de hasta el 7,2%, obtenida gracias a una tecnología de células y unas capacidades productivas avanzadas.
- Tolerancia positiva: la tolerancia positiva de hasta 5 W proporciona una mayor fiabilidad de la salida.
- Pruebas de carga de viento y nieve ampliadas: modulo certificado para soportar cargas extremas de viento (3800 pascales) y de nieve (5400 pascales).
- Altamente resistente a la degradación inducida por potencial (PID): una avanzada tecnología de células y los materiales de alta cualificación proporcionan una elevada resistencia al PID.
- Proceso de clasificación de corrientes Suntech: salida del Sistema maximizada gracias a la reducción de las pérdidas por desajuste hasta el 2% con módulos clasificados y embalados según amperaje.
- Compatible con alta tension del sistema: la tension máxima del sistema de 1500 V DC reduce el coste total del sistema.

Características eléctricas

STC	STP335-24/ Vfw	STP330-24/ Vfw	STP325-24/ Vfw
Potencia máxima en STC (P _{máx})	335W	330W	325 W
Tensión de empleo óptima (V _{mp})	37,7V	37,5V	37,3V
Corriente de empleo óptima (I _{mp})	8,89A	8,81A	8,72A
Tensión de circuito abierto (V _{oc})	46,5V	46,2V	45,9V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	9,51A	9,38A	9,26 A
Eficiencia del módulo	17,2%	17,0%	16,7%
Temperatura de empleo del módulo	-40 °C a +85 °C		
Máxima tensión del sistema	1500 V DC (IEC)		
Máximo valor nominal del fusible en serie	20 A		
Tolerancia de potencia	0/+5 W		

STC: irradiancia 1000 W/m², temperatura del módulo 25 °C, AM=1,5; mejor simulador solar de clase AAA utilizado (IEC 60904-9), incertidumbre de la medición de potencia de +/- 3%

Tabla 2. Ficha técnica de los paneles. SUNTECH de 325 Wp.

Tipo de instalaciones de autoconsumo

- Instalación de autoconsumo aislada

Son aquellas instalaciones que no cuentan conexión eléctrica con la red eléctrica. En este caso, el uso de baterías es imprescindible para garantizar suministro eléctrico durante todo el día.

Este tipo de instalaciones se encuentran en zonas donde no llega la red eléctrica o su implantación es costosa.

Las instalaciones aisladas están compuestas por: paneles solares, regulador de carga, inversor y baterías.

- Instalación de autoconsumo conectada a la red

Son aquellas instalaciones que se encuentran conectadas a la red eléctrica. En este caso, el uso de baterías no es imprescindible, ya que en el caso de que los paneles solares no den la suficiente energía como para suplir la demanda, la energía se tomará de la red eléctrica. Aunque, en algunos casos, se usan baterías con el fin de consumir lo mínimo de la red.

Las instalaciones aisladas están compuestas por: paneles solares, regulador de carga, inversor y baterías (opcional).

1.7 Baterías

Baterías Litio vs Baterías Plomo

En los últimos años las baterías de litio han aparecido con fuerza, sobre todo en el mundo de la energía solar, sustituyendo a las clásicas baterías de plomo.

Las baterías de plomo, también conocidas como baterías de ácido-plomo, están formadas por dos electrodos hechos de plomo, y el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico.

En estas baterías, cuando la batería está cargada, el ánodo contiene dióxido de plomo y el cátodo contiene plomo. En el momento en el que la batería se descarga, como resultado de la reacción química, ambos electrodos pasan a tener depósitos de sulfato de plomo.

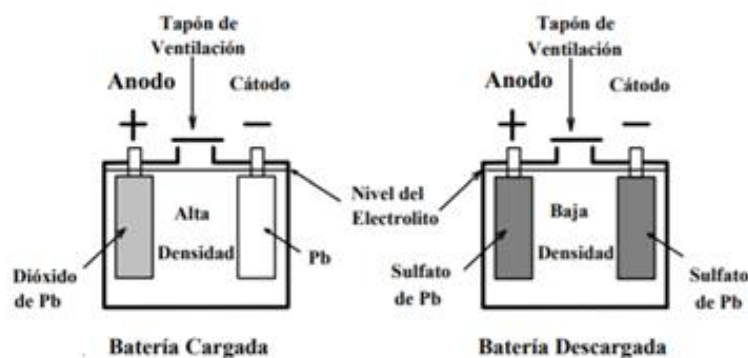


Figura 19. Baterías de plomo.

Por otro lado, las baterías de plomo emplean como electrolito una sal de litio, la cual permite que la reacción electroquímica entre los electrodos sea reversible.

Tipos de baterías de ácido-plomo:

- Batería de plomo abierto: en estas baterías el electrolito se encuentra en estado líquido. Además, pueden estar selladas o no, estas últimas son peligrosas debido al riesgo de fugas del electrolito. Son baterías baratas y muy comúnmente usadas como baterías de arranque. Solo pueden colocarse en posición vertical.

- Batería de gel: en estas baterías el electrolito se encuentra en estado gelatinoso, lo cual evita el riesgo de fugas del electrolito. Sin embargo, la viscosidad del electrolito puede producir grietas, poniendo en riesgo el rendimiento de la batería. Pueden colocarse en posición vertical y horizontal.
- Batería AGM: en estas baterías el electrolito es absorbido por almohadillas de fibra de vidrio situadas entre los electrodos en las que se almacena el ácido., lo cual permite que la batería pueda ser colocada en cualquier posición.

Tipos de baterías de Litio:

Las baterías de Litio pueden clasificarse en base al material catódico.

- Óxido de cobalto: alta densidad de energía, pero grandes problemas de seguridad.
- Óxido de manganeso: son baterías mas seguras que las de óxido de cobalto, lo cual convierte esta batería, en una batería mas funcional. Aunque, tienen mal rendimiento a altas temperaturas.
- Óxido de hierro: son baterías seguras, ofrecen buen rendimiento y duran más (mayor número de ciclos).

¿Cuál es la batería más aconsejable para instalaciones solares fotovoltaicas?

Hay 6 factores/diferencias fundamentales que responden a la pregunta.

- Flexibilidad: las baterías de litio permiten aumentar la instalación en módulos de 2,5 kW, mientras que las baterías de ácido-plomo permiten aumentar la instalación dependiendo de la bancada de baterías y solo durante el primer año de vida.
- Años de garantía: las baterías de litio ofrecen diez años de garantía, el plomo solo alrededor de dos años. Esto se debe a que en las baterías de plomo no es posible llevar ningún control de carga-descarga. Si se usan correctamente duran, y sino no. Sin embargo, las baterías de litio tienen una serie de electrónica interna que en el que caso de que la batería no se use de forma correcta se desconecta automáticamente.)
- Número de ciclos: las baterías de litio tienen un número de ciclos superior a las baterías de plomo, normalmente unos 6.000 ciclos. Por otro lado, las baterías de plomo suelen dar entre 800 y 1.200 ciclos.
- Profundidad de descarga: el litio permite incluso el 100%, mientras que el plomo como mucho puede descargarse al 40-50%.
- Precio/ciclo: las baterías de plomo son más baratas como una primera inversión, pero el precio por ciclo es menor en el caso de las baterías de litio. Esto hace que con el tiempo las baterías de litio salgan más rentables.
- Eficiencia de carga: la eficiencia de carga de las baterías de litio se acerca al 100%, entre el 95-99%. Esto quiere decir, que cada kWh producido por la instalación solar FV va a introducirse directamente en la batería, y la pérdida va a ser muy pequeña. Sin embargo, en las baterías de plomo, la eficiencia de carga oscila entre el 80-85%.

Por todas estas razones, el litio es más aconsejable.

Para la elaboración de este proyecto se ha elegido baterías BYD de 2,5 kW.



Figura 20. Armario de baterías BYD de 10 kW.

Estas baterías destacan por sus buenas prestaciones:

- Más de 6000 ciclos de vida
- Alta salida de energía y alta densidad energética
- Buen rendimiento a altas temperaturas y seguridad
- Tecnología de baterías que respeta el medio ambiente

Ficha técnica:

	Battery-Box Pro 2.5	Battery-Box Pro 5.0	Battery-Box Pro 7.5	Battery-Box Pro 10.0	Battery-Box Pro 13.8
Módulos	1 módulo	2 módulos	3 módulos	4 módulos	2 módulos
Energía Disponible [1]	2.56 kWh	5.12 kWh	7.68 kWh	10.24 kWh	13.8 kWh
Potencia de Salida Máx	2.56 kW	5.12 kW	7.68 kW	10.24 kW	12.8 kW
Potencia de Salida Pico	5.12 kW, 30 s	10.24 kW, 30 s	15.36 kW, 30 s	20.48 kW, 30 s	13.3 kW, 60 s
Eficiencia (Carga/Descarga)	≥95.3 % [1]				≥95.3 % [1]
Voltaje Nominal	51.2 V				51.2 V
Rango de Voltaje Operativo	43.2–56.4 V				40–59.2 V
Comunicación	RS485 / CAN				RS485 / CAN
Dimensiones (W/H/D)	600 x 883 x 510 mm				650 x 800 x 550 mm
Peso	79 kg	113 kg	146 kg	180 kg	181 kg
Índice de Protección	IP20				IP20
Garantía	10 años				10 años
Temperatura de Operación [2]	-10 °C to +50°C				-10 °C to +50°C
Certificación	TUV (IEC62619) / CE / UN38.3 / Sicherheitsleitfaden Li-Ionen-Hausspeicher				TUV / CE / UN38.3
Escalabilidad	Máximo 32 B-Plus 2.5 en paralelo / 81.92 kWh				Máx 32 sistemas en paralelo/441.6 kWh
Inversores Compatibles	SMA / GOODWE / SOLAX / Victron / Sungrow / Selectronic, y más marcas serán anunciadas				
Aplicaciones	ON-Grid / ON-Grid + Backup / OFF Grid (Véase la Lista de Configuración Mínima de BYD)				

[1] Condiciones de Test: 100% DOD, 0.2C carga y descarga + 25 °C
 [2] < 10 °C reducción de potencia

Tabla 3. Ficha técnica de las baterías BYD de 2,5 kW.

Las baterías de litio BYD B-Box permiten realizar sistemas de hasta 80 kilovatios montando 10 baterías BYD B-box de 10 kWh.

1.8 Inversor

Funcionamiento de los inversores string:

Un inversor fotovoltaico convierte la corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna.

Un inversor string puede tener 1 o más strings, y cada string permite conectar una fila de módulos solares conectados en serie. Este tipo de inversores existen desde hace décadas, por lo que la tecnología está muy conseguida y es eficaz, pero no por esto es siempre la más adecuada.

Un inversor string es capaz de captar tanta electricidad como el panel menos eficiente del ramal, es decir, si un panel no tiene la orientación o inclinación adecuada, o bien, se ve afectado por la presencia de sombras, el inversor de tipo string no es la mejor opción.

Para la elaboración de este proyecto se han elegido inversores SMA de 5 kW.

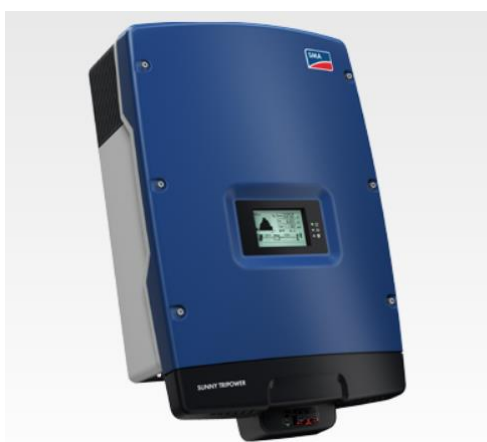


Figura 21. Inversor Sunny Tripower 5000TL.

Datos técnicos	Sunny Tripower 5000TL
Entrada (CC)	
Potencia máx. del generador fotovoltaico	9000 Wp
Tensión de entrada máx.	1000 V
Rango de tensión MPP / tensión asignada de entrada	De 245 V a 800 V / 580 V
Tensión de entrada mín. / de inicio	150 V / 188 V
Corriente máx. de entrada, entradas: A / B	11 A / 10 A
Corriente de cortocircuito máx., entradas: A / B	17 A / 15 A
Número de entradas de MPP independientes / strings por entrada de MPP	2 / A:2; B:2
Salida (CA)	
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	5000 W
Potencia máx. aparente de CA	5000 VA
Tensión nominal de CA	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Rango de tensión nominal de CA	De 160 V a 280 V
Frecuencia de red de CA / rango	50 Hz, 60 Hz/De -5 Hz a +5 Hz
Frecuencia / tensión asignada de red	50 Hz / 230 V
Corriente máx. de salida	7,3 A
Factor de potencia a potencia asignada	1
Factor de desfase ajustable	0,8 inductivo a 0,8 capacitivo
Fases de inyección / conexión	3 / 3
Rendimiento	
Rendimiento máx. / europeo	98 % / 97,1 %

Tabla 4. Ficha técnica del inversor SMA Sunny Tripower 5000TL.

1.9 Recarga de coches eléctricos con energía solar

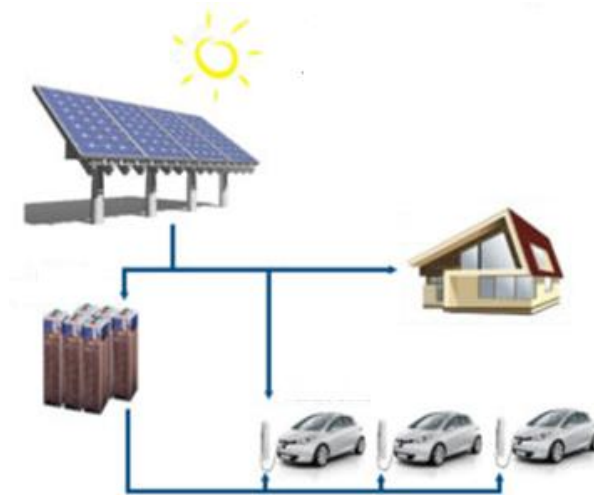


Figura 22. Recarga de coches eléctricos con energía solar.

La idea de que un coche eléctrico pueda cargarse con energía solar fotovoltaica es una evidencia más de que la energía solar y el transporte eléctrico pueden casar a la perfección. Por una parte, supone un impulso hacia la sostenibilidad para el medio ambiente, y por otra parte los paneles solares ayudan no solo a ahorrar en combustible, sino también en la factura eléctrica mensual del hogar.

Para saber que tamaño de instalación es la idónea para la carga de un coche eléctrico hay que tener en cuenta muchos factores: ubicación, orientación e inclinación de los paneles, época del año, tipo de coche y uso de este, número de baterías disponibles, presupuesto, etc. Todos estos factores hacen que sea aconsejable una fuente de energía alternativa, como puede ser el uso de baterías o de la red eléctrica, para asegurar la presencia de suministro eléctrico en cualquier situación.

Pero una idea fundamental que hay que tener clara es que por norma general un vehículo eléctrico consume entre 14 y 21 kWh por cada 100 km. Con este dato es posible dimensionar el tamaño de la instalación para cada caso.

1.10 Proyectos existentes

Hoy día existen proyectos en los cuales es posible ver ciertos puntos en común con este estudio. Algunos de ellos son:

- Proyecto de una instalación solar fotovoltaica monitorizada en cubierta de nave industrial y marquesina de aparcamiento. Antonio Luis Madrigal Villegas, TGF 2010.

En este proyecto se propone la instalación de una planta solar fotovoltaica sobre las marquesinas de un aparcamiento.

Sin duda, la instalación de paneles sobre una marquesina de aparcamiento es ideal no solo para aprovechar la energía solar, sino también para dar sombra a los coches. Este proyecto plantea la posibilidad de aprovechar el espacio de las marquesinas para la instalación de los paneles, en una plaza de coche es posible instalar hasta 2,925 kWp.

Este proyecto ofrece un nuevo punto de vista sobre la ubicación de los paneles, ideal para la recarga de coches eléctricos.

- Alternativas de almacenamiento en instalaciones de producción de frío con energía solar fotovoltaica. Francisco Javier Porcel Martínez, PFC 2014.

En este proyecto se estudia las diferentes formas de almacenamiento de energía eléctrica. Tipos de baterías: plomo ácido (tipo inundada), plomo ácido (Válvula reguladora), Niquel-cadmio, Sulfuro sódico, Ión litio, Vanadio redox y Bromo-Zinc.

Aunque con los recientes avances sobre las baterías de litio, a pesar de no ser las baterías más baratas, son sin duda a largo plazo la mejor opción. Algunas de las ventajas son: pueden cargarse en cualquier momento del estado de carga sin reducir su vida útil, son las baterías que tienen mayor nivel en densidad de carga, presentan mayor capacidad de almacenamiento y una vida útil mayor y son totalmente seguras y fiables.

- Centro prosumidor de energía eléctrica fotovoltaica para la recarga de vehículos eléctricos. Juan Antonio Cuenca Santos, Trabajo académico 2016.

Este proyecto tiene como objetivo la recarga de vehículos eléctricos en un parking mediante energía eléctrica, procedente en combinación de la red eléctrica y la generación fotovoltaica. Sin embargo, no plantea la posibilidad del uso de baterías.

En conclusión, existen numerosos proyectos con ciertas ideas en común al proyecto que aquí se presenta. Este proyecto se distingue del resto porque:

- Calcula la producción solar fotovoltaica de manera teórica y no mediante programas de simulación.
- Tiene en consideración la posibilidad de baterías para la recarga de coches eléctricos. Además de contar con la red eléctrica y los paneles solar fotovoltaicos.
- Estudia perfiles de consumo, con el fin de proponer la instalación más idónea en función del tipo de demanda.
- Calcula el ahorro energético que se obtendría con la nueva instalación generadora renovable.
- Estudia los beneficios medioambientales

1.11 Alcance del proyecto

El objetivo de este proyecto es analizar la viabilidad de las instalaciones fotovoltaicas para la recarga de coches eléctricos, su rentabilidad económica y su repercusión medioambiental.

Para la elaboración de este proyecto será necesario:

- Calcular la producción solar fotovoltaica, la cual depende de los siguientes factores: ubicación, inclinación de los paneles, orientación, tamaño de la instalación y posibles pérdidas.
- Estimar el porcentaje de cobertura de la instalación fotovoltaica teniendo en cuenta no solo los paneles, sino también la presencia o no de baterías.
- Calcular del ahorro energético que supone la implantación de la nueva planta dependiendo del tipo de tarifa eléctrica contratada.
- Evaluar la amortización de la planta.
- Deducir la reducción de emisiones de CO₂ a la atmosfera.

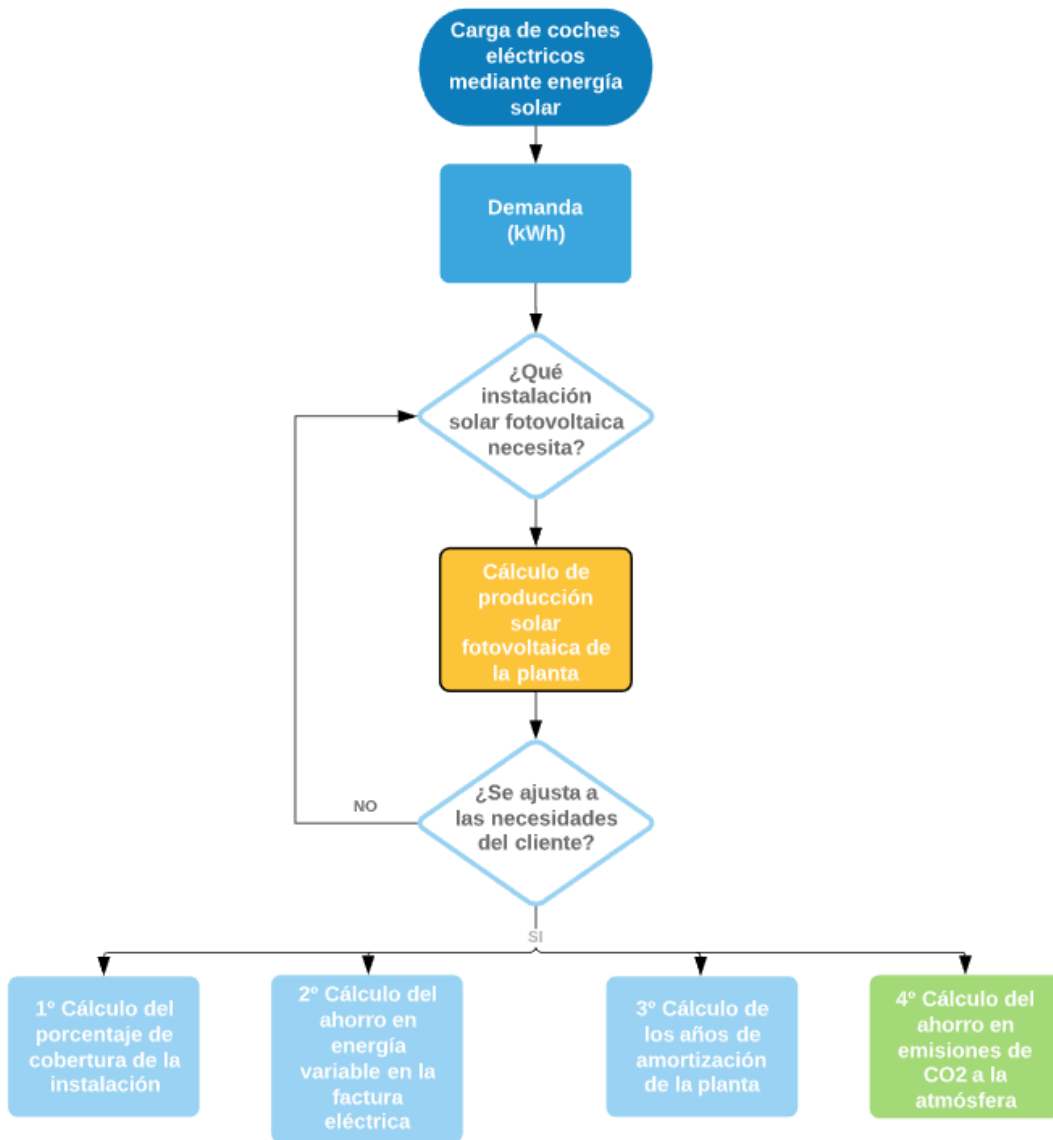


Figura 23. Diagrama de flujo: Alcance del proyecto.

2 PRODUCCIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

En este apartado se desarrolla un modelo que permite calcular la producción solar fotovoltaica de cualquier planta. Para ellos será necesario seguir los siguiente pasos:

1. Radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra.
2. Selección de 12 ciudades, cada una de ellas de diferente zona climática.
3. Radiación solar incidente sobre un modulo a 35° grados de inclinación (ángulo de mayor producción solar fotovoltaica) para las 12 zonas climáticas.
4. Producción solar de los paneles fotovoltaicos mediante la aplicación de un modelo simplificado para las 12 zonas climáticas.

2.1 Radiación

El sol es una inmensa fuente de energía inagotable con un diámetro de 1.400.000 km y situado a una distancia media de 150 millones de km respecto de la tierra. El sol genera su energía mediante reacciones nucleares de fusión que se llevan a cabo en su núcleo. La generación de energía proviene de la pérdida de masa del sol, que se convierte en energía de acuerdo con la famosa ecuación de Einstein $E=m*c^2$, donde “E” es la cantidad de energía liberada cuando desaparece la masa “m”, “c” es la velocidad de la luz.

Algunas magnitudes sobre la radiación solar:

- Irradiancia: radiación que incide en un instante sobre una superficie determinada (Potencia).
- Irradiación: radiación que incide durante un periodo de tiempo sobre una superficie determinada (Energía).
- Irradiancia directa: radiación que llega a un determinado lugar procedente del disco solar.
- Irradiancia difusa: radiación procedente de toda la bóveda celeste excepto la procedente del disco solar.
- Irradiancia global: suma de la radiación directa y difusa.

La diferencia de distancia entre el sol y la tierra provoca que la radiación incidente sobre la superficie terrestre varíe a lo largo del año.

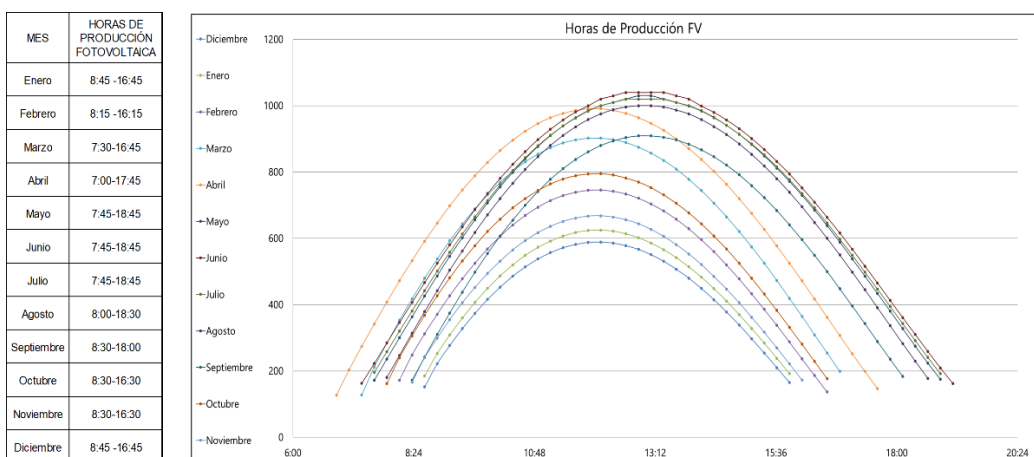


Figura 24. Horas de producción solar fotovoltaica. Elaboración propia: datos sacados de la comisión europea, programa PVGIS.

La gráfica anterior es una demostración de cómo la radiación incidente sobre la superficie de la Tierra es mayor durante los meses de verano e inferior durante el invierno.

El movimiento de la Tierra alrededor del Sol puede describirse, utilizando esta forma de representación, como un movimiento del Sol alrededor de la Tierra, siendo el máximo círculo cuando forma un ángulo de $23,45^\circ$ con el ecuador celeste y que se denomina elíptica. En un solo día se considera que la declinación solar solo puede variar como máximo $0,5^\circ$, aunque para facilitar los cálculos se considera constante para cada día del año.

El Sol recorre este círculo una vez al año y la esfera celeste gira una vez al día alrededor de la Tierra que permanece fija. De esta forma, el Sol describe diariamente y alrededor de la Tierra, un círculo cuyo diámetro cambia de día a día y es máximo en los equinoccios y mínimo en los solsticios. Los sentidos de giro del Sol sobre la elíptica y de la esfera celeste alrededor de la Tierra son contrarios.

La oblicuidad de la elíptica permite explicar, por un lado, el distinto calentamiento de la Tierra en función de su posición en la órbita (las estaciones del año), y, por otro lado, la distinta duración del día y de la noche a lo largo del año.



Figura 25. Oblicuidad elíptica de la tierra.

Debido a que la Tierra, en su trayectoria alrededor del Sol, no sigue un perfecto movimiento circular uniforme, el tiempo transcurrido hasta que el Sol pasa dos veces consecutivas por una misma posición angular en la bóveda celeste no es constante e igual a 24 horas, sino que varía a lo largo del año.

La radiación extraterrestre que procede directamente del Sol es reflejada al entrar en la atmósfera por la presencia de las nubes, el vapor de agua, etc. y dispersada por las moléculas del agua, el polvo en suspensión, etc. Por todo esto la radiación solar que llega a una superficie terrestre procede de tres componentes:

- Radiación directa: formada por los rayos procedentes del Sol directamente.
- Radiación difusa: aquella procedente de toda la bóveda celeste, excepto la que llega del Sol.
- Radiación del Albedo: procedente del Sol, es decir, debida a la reflexión de parte de la radiación incidente sobre montañas, lagos, edificios, etc.

La potencia incidente sobre un panel fotovoltaico no solo depende de la potencia del Sol, sino también del ángulo de inclinación del panel. De manera que cuando el módulo fotovoltaico está en una posición donde los rayos del Sol inciden perpendicularmente, la producción solar se maximiza.

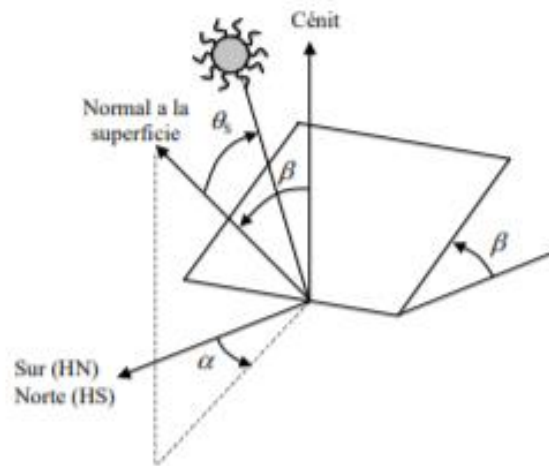


Figura 26. Ángulos de posición de una superficie: posición del receptor (inclinación, β , y azimut, α) y ángulo de incidencia de los rayos solares. Fuente: Eduardo Lorenzo, (2004). Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos, volumen ii.

Las ecuaciones que relacionan la radiación incidente sobre una superficie inclinada S módulo, la radiación solar medida en la superficie horizontal S horizontal y la medida de la radiación solar perpendicular al sol S incidente son:

$$S_{\text{horizontal}} = S_{\text{incidente}} * \text{Sen}(\alpha)$$

$$S_{\text{módulo}} = S_{\text{incidente}} * \text{Sen}(\alpha + \beta)$$

Siendo α el ángulo de elevación y β el ángulo de inclinación del módulo

$$\alpha = 90 - \phi + \delta$$

Donde ϕ es la latitud y δ es el ángulo de declinación.

$$\delta = 23,45 * \text{Sen} * ((360/365) * (284 + d))$$

Donde d es el día del año.

Finalmente, de todas estas ecuaciones se saca que: $S_{\text{módulo}} = (S_{\text{horizontal}} * \text{Sen}(\alpha + \beta)) / (\text{Sen}(\alpha))$

2.2 Zonas climáticas

Tal y como indica el Documento básico HE de Ahorro de Energía. “La zona climática de cualquier localidad en la que ubiquen los edificios se obtiene de la tabla D.1 en función de la diferencia de altura que exista entre dicha localidad y la altura de referencia de la capital de su provincia. Si la diferencia de altura fuese menos de 200 metros o la localidad se encontrase a una altura inferior que la de referencia, se tomará, para dicha localidad, la misma zona climática que la que corresponde a la capital de provincia”.

Tabla D.1.- Zonas climáticas

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de gran canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soñá	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Tabla 5. Zonas climáticas. Fuente: El documento básico HE de ahorro de energía.

A partir de los archivos en formato .Met publicados por el Ministerio de Fomento, es posible conocer los datos climáticos para cada zona con los siguientes campos (a nivel horario):

- a) Mes (1 a 12)
- b) Día (1 a 31)
- c) Hora (1 a 24)
- d) Temperatura seca (°C)
- e) Temperatura efectiva del cielo (°C)
- f) Irradiancia solar directa sobre una superficie horizontal (W/m²)
- g) Irradiancia solar difusa sobre una superficie horizontal (W/m²)
- h) Humedad específica (kg H₂O/kg aire seco)
- i) Humedad relativa (%)
- j) Velocidad del viento (m/s)
- k) Dirección del viento (grados respecto al norte, E+, O-)
- l) Azimut solar (grados)
- m) Cénit solar (grados)

De todos estos datos, para calcular la radiación que incide sobre cada módulo solo son necesarios los datos de irradiancia solar. De manera que, en primer lugar calculamos la radiación total horizontal, la cual es la suma de la radiación directa mas la radiación difusa.

1°

$$\text{Radiación total horizontal} = \text{Radiación directa} + \text{Radiación difusa}$$

En segundo lugar, se calcula la declinación solar. La declinación solar es el ángulo entre la línea Sol-Tierra y el plano ecuatorial celeste (proyección del Ecuador terrestre). El valor de la declinación solar varía a lo largo del año, de $23,45^\circ$ (21 de junio) a $-23,45^\circ$ (21 de diciembre), pasando por cero en los equinoccios de primavera y de otoño.

2°

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left[\frac{360}{365}(284 + d)\right]$$

En tercer lugar, se calcula el ángulo de elevación. El ángulo de elevación es la altura angular del sol en el cielo medido desde la horizontal. El ángulo de elevación varía a lo largo del día. También depende de la latitud del lugar particular y el día del año.

3°

$$\alpha = 90 - \phi + \delta$$

Por ultimo, se calcula la radiación solar incidente en cada módulo. En este proyecto se han calculado los valores de radiación sobre el módulo para 12 ciudades diferentes, cada ciudad de una zona climática distinta.

4°

$$S_{module} = \frac{S_{horizontal} \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}$$

En la tabla 6 se observan todos estos cálculos para la zona climática A3, en este caso, para la ciudad de Cádiz.

Latitud	Longitud	Inclinación paneles β	$\delta = 23.45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (284 + d) \right]$			$\alpha = 90 - \phi + \delta$		$S_{module} = \frac{S_{horizontal} \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}$			
36,5	-6,26	35°									
Mes	Día	Día del año	Hora	Radiación directa	Radiación difusa	Radiación total horizontal	Azimet	Zenit	Ángulo de declinación β	Ángulo de elevación α	Radiación sobre el módulo W/m ²
1	1	1	1	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	2	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	3	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	4	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	5	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	6	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	7	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	8	17	22	39	-57,30°	86,00°	-23,01°	30,49°	69,94
1	1	1	9	57	89	146	-48,40°	77,40°	-23,01°	30,49°	261,83
1	1	1	10	256	78	334	-36,80°	69,30°	-23,01°	30,49°	598,98
1	1	1	11	354	85	439	-23,20°	63,20°	-23,01°	30,49°	787,28
1	1	1	12	330	125	455	-8,00°	60,00°	-23,01°	30,49°	815,97
1	1	1	13	373	104	477	8,00°	60,00°	-23,01°	30,49°	855,43
1	1	1	14	288	117	405	23,20°	63,20°	-23,01°	30,49°	726,30
1	1	1	15	132	132	264	36,80°	69,30°	-23,01°	30,49°	473,44
1	1	1	16	63	87	150	48,40°	77,40°	-23,01°	30,49°	269,00
1	1	1	17	17	22	39	57,30°	86,00°	-23,01°	30,49°	69,94
1	1	1	18	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	19	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	20	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	21	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	22	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	23	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	1	1	24	0	0	0	0,00°	90,00°	-23,01°	30,49°	0,00
1	2	2	1	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	2	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	3	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	4	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	5	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	6	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	7	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	8	4	24	28	-57,40°	85,90°	-22,93°	30,57°	50,13
1	2	2	9	14	84	98	-48,50°	77,40°	-22,93°	30,57°	175,44
1	2	2	10	26	154	180	-36,80°	69,20°	-22,93°	30,57°	322,24
1	2	2	11	104	209	313	-23,30°	63,10°	-22,93°	30,57°	560,33
1	2	2	12	35	214	249	-8,00°	59,90°	-22,93°	30,57°	445,76
1	2	2	13	13	81	94	8,00°	59,90°	-22,93°	30,57°	168,28
1	2	2	14	32	196	228	23,30°	63,10°	-22,93°	30,57°	408,17
1	2	2	15	16	38	54	36,80°	69,20°	-22,93°	30,57°	96,67
1	2	2	16	7	23	30	48,50°	77,40°	-22,93°	30,57°	53,71
1	2	2	17	2	12	14	57,40°	85,90°	-22,93°	30,57°	25,06
1	2	2	18	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	19	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	20	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	21	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	22	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	23	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	2	2	24	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,93°	30,57°	0,00
1	3	3	1	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,84°	30,66°	0,00
1	3	3	2	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,84°	30,66°	0,00
1	3	3	3	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,84°	30,66°	0,00
1	3	3	4	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,84°	30,66°	0,00
1	3	3	5	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,84°	30,66°	0,00
1	3	3	6	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,84°	30,66°	0,00
1	3	3	7	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,84°	30,66°	0,00
1	3	3	8	17	21	38	-57,50°	85,90°	-22,84°	30,66°	67,90
1	3	3	9	87	76	163	-48,50°	77,30°	-22,84°	30,66°	291,25
1	3	3	10	65	138	203	-36,90°	69,10°	-22,84°	30,66°	362,72
1	3	3	11	108	179	287	-23,30°	63,00°	-22,84°	30,66°	512,81
1	3	3	12	93	196	289	-8,00°	59,80°	-22,84°	30,66°	516,39
1	3	3	13	117	201	318	8,00°	59,80°	-22,84°	30,66°	568,20
1	3	3	14	122	180	302	23,30°	63,00°	-22,84°	30,66°	539,62
1	3	3	15	241	86	327	36,90°	69,10°	-22,84°	30,66°	584,29
1	3	3	16	138	58	196	48,50°	77,30°	-22,84°	30,66°	350,21
1	3	3	17	19	22	41	57,50°	85,90°	-22,84°	30,66°	73,26
1	3	3	18	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,84°	30,66°	0,00
1	3	3	19	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,84°	30,66°	0,00
1	3	3	20	0	0	0	0,00°	90,00°	-22,84°	30,66°	0,00

Tabla 6. Radiación solar incidente sobre el módulo fotovoltaico en Cádiz.

En esta tabla se pueden ver algunos de los valores de radiación horaria sobre el módulo fotovoltaico en la ciudad de Cádiz.

Este mismo procedimiento se ha llevado a cabo para las siguientes ciudades:

- Cádiz: zona climática A3
- Almería: zona climática A4
- Valencia: zona climática B3
- Sevilla: zona climática B4
- Oviedo: zona climática C1
- Barcelona: zona climática C2
- Granada: zona climática C3
- Badajoz: zona climática C4

- Lugo: zona climática D1
- Valladolid: zona climática D2
- Madrid: zona climática D3
- Burgos: zona climática E1

Si se repite el proceso llevado a cabo en la tabla 6 para cada zona climática, da como resultado la tabla 7. En la tabla 7 se puede observar cual sería la radiación solar incidente sobre un modulo a 35° durante todo un año. La ciudad con mayor radiación sobre los módulos es Cádiz, por el contrario, la ciudad con menor radiación es Oviedo.

Ciudad			Cádiz	Almería	Valencia	Sevilla	Oviedo	Barcelona	Granada	Badajoz	Lugo	Valladolid	Madrid	Burgos
Zona Climática			A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1
Radiación sobre el módulo por año kW/m2			2.184	2.164	2.021	2.172	1.523	1.945	2.146	2.122	1.635	1.942	1.945	1.810
Mes	Día	Hora	Radiación sobre el módulo por hora W/m2											
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	8	70	65	54	69	26	40	75	4	25	39	41	25
1	1	9	262	246	248	212	230	103	317	13	104	97	67	118
1	1	10	599	459	396	464	473	137	577	61	255	120	108	108
1	1	11	787	524	711	739	677	282	723	74	285	244	151	139
1	1	12	816	761	849	887	792	348	909	76	340	384	354	271
1	1	13	855	847	849	887	792	386	838	85	403	420	254	124
1	1	14	726	701	730	717	677	239	668	87	168	382	222	141
1	1	15	473	403	524	463	473	153	512	51	155	359	193	135
1	1	16	269	188	277	252	230	78	279	25	68	118	151	31
1	1	17	70	54	54	58	26	38	64	9	25	35	43	27
1	1	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	8	50	45	54	57	25	40	75	59	13	38	37	8
1	2	9	175	108	278	288	55	189	318	68	146	99	120	25
1	2	10	322	225	527	359	187	434	578	302	381	354	345	14
1	2	11	560	308	732	578	219	570	791	612	627	379	296	41
1	2	12	446	404	849	628	223	817	912	674	684	275	326	62
1	2	13	168	588	849	746	155	817	912	701	765	393	400	81
1	2	14	408	346	732	706	151	703	791	537	600	670	388	85
1	2	15	97	137	527	350	40	478	607	229	388	140	161	29
1	2	16	54	60	276	153	4	108	331	89	208	168	177	19
1	2	17	25	61	54	47	28	40	75	45	28	41	49	2
1	2	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 7. Radiación solar incidente sobre el módulo fotovoltaico en cada zona climática.

Las celdas de color verde pertenecen a aquellas ciudades donde la radiación es superior, por otro lado, las celdas de color rojo pertenecen a ciudades con menor radiación incidente sobre módulo. El orden es el siguiente:

1. Cádiz
2. Sevilla

3. Almería
4. Granada
5. Badajoz
6. Valencia
7. Madrid
8. Barcelona
9. Valladolid
10. Burgos
11. Lugo
12. Oviedo

Estos resultados coinciden con los publicados por ADRESE (acceso de radiación solar España), en los cuales puede verse los valores de radiación de todo el país.

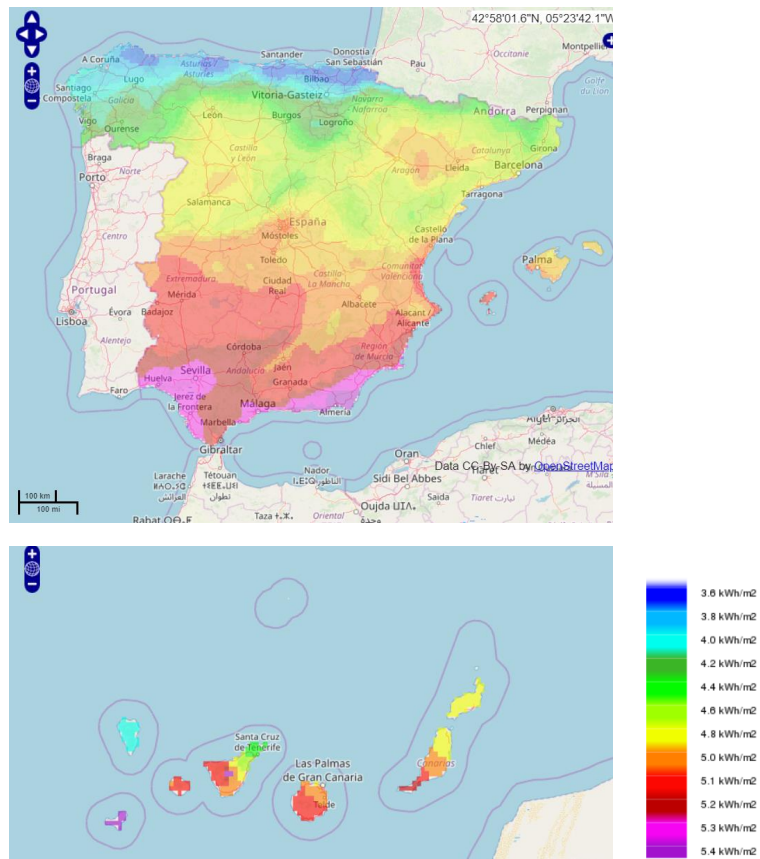


Figura 27. Radiación solar en España. Fuente: ADRESE.

2.3 Valores de producción FV

2.3.1 Modelo simplificado para la evaluación del rendimiento energético de los módulos fotovoltaicos

Fundamento matemático

En general, el modelo de célula solar se puede representar como se muestra en la siguiente figura:

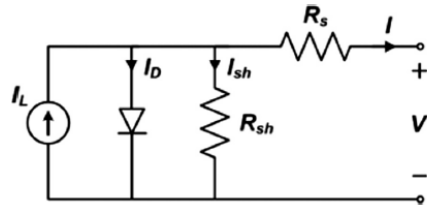


Figura 28. Circuito equivalente de células solares.

Los modelos de circuitos equivalentes definen la curva I-V completa de una célula, módulo o matriz como una función continua para un conjunto dado de condiciones de funcionamiento. Un modelo de circuito equivalente básico de uso común es el modelo de diodo único, que se deriva de los principios físicos y está representado por el circuito para una sola célula solar.

Este circuito consta de una fuente de corriente, diodo, resistencia en serie, R_s y resistencia en derivación, R_{sh} . La corriente de la célula solar está representada por la fuente actual. R_s representa la resistencia del material, mientras que R_{sh} se agrega para representar la vía de fuga a través del material nominalmente aislante. En este circuito, se supone que I_{sh} es demasiado pequeño y se puede descuidar ya que se supone que R_{sh} es una resistencia muy grande en comparación con R_s .

La ecuación que rige para este circuito equivalente se formula utilizando la ley actual de Kirchoff para la corriente I:

$$I = I_L - I_D - I_{sh}$$

Aquí, I_L representa la corriente generada por la luz en la celda, I_D representa la corriente dependiente del voltaje perdida por recombinación e I_{sh} representa la corriente perdida debido a las resistencias de derivación. En este modelo de diodo único, la I_D se modela utilizando la ecuación de Shockley para un diodo ideal:

$$I_D = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{V + I \cdot R_s}{n \cdot V_T}\right) - 1 \right]$$

Donde n es el factor de idealidad del diodo (sin unidades, generalmente entre 1 y 2 para una sola celda de unión), I_0 es la corriente de saturación y V_T es el voltaje térmico dado por:

$$V_T = \frac{K \cdot T_c}{q}$$

Donde K es la constante de Boltzmann ($1.381 \cdot 10^{-23}$ J / K) y q es la carga elemental (1.602×10^{-19} C)

La corriente de derivación se escribe como $I_{sh} = (V + I \cdot R_s) / R_{sh}$. Combinando estas ecuaciones anteriores da como resultado la ecuación de gobierno completa para el modelo de diodo único:

$$I = I_L - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{V + I \cdot R_s}{n \cdot V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}}$$

Los cinco parámetros en esta ecuación son primarios para todos los modelos de circuitos equivalentes de diodos individuales: corriente de luz I_L (A), corriente de saturación inversa de diodo I_0 (A), resistencia de serie R_s (Ω), resistencia de derivación R_{sh} (Ω), n factor ideal del nodo (sin unidades).

La ecuación anterior representa la característica I – V de un panel FV. Como esta característica no es lineal y la relación entre la corriente del panel fotovoltaico y el voltaje no es explícita, se debe utilizar un método numérico (por ejemplo, el algoritmo iterativo de Newton, el método Secante, el método Tangente ...) para resolverlo.

La característica IV de un panel fotovoltaico tiene la siguiente forma:

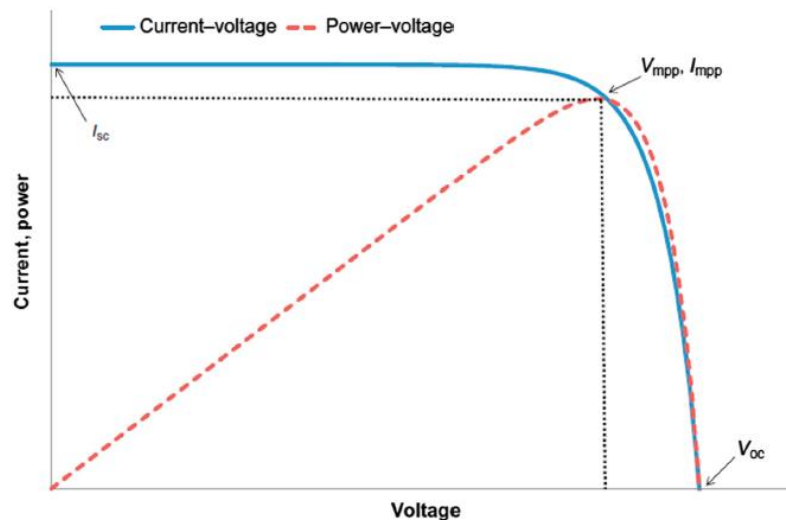


Figura 29. Curva característica de una célula solar en condiciones estándar.

La representación más útil del comportamiento eléctrico de una célula solar la proporciona su curva característica, que representa sus posibles puntos de operación (corriente y voltaje) en las condiciones existentes de radiación incidente y temperatura celular.

Para facilitar la comparación de diferentes células o módulos fotovoltaicos, se establecen condiciones climáticas de referencia; se conocen como condiciones de prueba estándar, establecidas por la norma IEC 60904, que consiste en:

- Radiancia total (E) = 1000 W / m².
- Temperatura celular = 25 ° C, con una tolerancia de ± 2 °.
- La irradiancia espectral de referencia para la masa de aire (AM) = 1.5.

La curva característica de una célula solar está determinada por la posición de tres puntos:

- Punto de máxima potencia (P_{mpp}): es el punto en la curva donde la celda produce su mayor potencia de salida. La potencia máxima corresponde con el punto en el que I_{mpp} se encuentra con V_{mpp} . El valor más alto en condiciones estándar se conoce como la "potencia máxima", medida en picos de vatios (Wp).
- Corriente de cortocircuito (I_{sc}): es la corriente generada cuando el voltaje a través de la celda es cero. Por lo general, tiene un valor de 5 a 15% más alto que la corriente en el punto de máxima potencia (I_{mpp}). En las células comerciales de silicio cristalino, la corriente de cortocircuito varía entre 25 y 35 mA por centímetro cuadrado de área celular.
- Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): es el voltaje disponible desde la celda a corriente cero. Para celdas de silicio cristalino comerciales de 100 cm² en condiciones estándar, el valor de voltaje de circuito abierto es de alrededor de 0.5 a 0.6 V, mientras que el valor para las células amorfas está entre 0.6 y 0.9 V.

Este trabajo propone una nueva forma explícita de definir las curvas I-V en diferentes condiciones de operación. Para esto, se ha obtenido una formulación matemática a partir del análisis de diferentes módulos y las ecuaciones que rigen su comportamiento físico.

Modelo

La metodología propuesta modela el comportamiento del módulo fotovoltaico (curva I-V) en dos segmentos, porque hay un cambio en el comportamiento del módulo (saturación del diodo) una vez que alcanza su punto de máxima potencia (P_{mpp}). Esta formulación de dos segmentos permite determinar directamente el punto de máxima potencia en condiciones de operación estándar y otras.

$$I^* = a_1 \cdot e^{b_1 \cdot V^*} + c_1 \cdot e^{d_1 \cdot V^*}$$

$$I^* = a_2 \cdot e^{b_2 \cdot V^*} + c_2 \cdot e^{d_2 \cdot V^*}$$

Donde las variables de voltaje y corriente están estandarizadas de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$I^* = \frac{I}{I_{sc}}$$

$$V^* = \frac{V}{V_{oc}}$$

Por lo tanto, la intersección de las dos curvas define el punto donde se produce la potencia máxima en condiciones estándar.

Los coeficientes de estas curvas ($a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2$) se obtienen utilizando la curva característica del módulo PV. El procedimiento seguido para obtener los coeficientes es:

1. Estandarización de los datos de la curva característica en condiciones estándar y separación de la curva en los dos segmentos mencionados anteriormente.
2. Obtención de los coeficientes de curva ($a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2$) que presentan el mejor ajuste para la muestra elegida.
3. Validación de estos coeficientes en los módulos de los que se obtienen.

El comportamiento eléctrico de la célula solar y, en consecuencia, su curva característica, varían según la temperatura de la célula y la irradiación incidente. Este hecho se tiene en cuenta variando la corriente de cortocircuito y el voltaje de cortocircuito según las condiciones ambientales y, por lo tanto, una vez que estas dos variables se conocen en condiciones reales, es posible estimar la potencia eléctrica que aplica la energía propuesta. modelo.

En condiciones de funcionamiento no estándar (situaciones reales), la temperatura de la celda y la irradiancia incidente varían. Las siguientes secciones muestran la corrección de temperatura e irradiancia.

Corrección por Irradiancia

La corriente de cortocircuito (I_{sc}) generada por una célula solar aumenta en línea con la radiación incidente (E_c). Tomando como referencia la corriente de cortocircuito a una irradiancia de 1000 W / m^2 y con una temperatura de celda igual a T_c , $I_{sc}(T = 25 \text{ °C}, E = 1000 \text{ W / m}^2)$. La corriente de cortocircuito (I_{sc}) para otro nivel de irradiancia (E_c) está determinada por la ecuación:

$$I_{sc}(T = 25 \text{ °C}, E = E_c) = \frac{E_c}{1000} \cdot I_{sc}(T = 25 \text{ °C}, E = 1000 \text{ W/m}^2)$$

El efecto de irradiancia en el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) está determinado por la expresión:

$$V_{oc}(T = 25 \text{ °C}, E = E_c) = V_{oc}(T = 25 \text{ °C}, E = 1000 \text{ W/m}^2) + V_T \cdot \ln \frac{E}{1000}$$

donde $V_T = \frac{KT}{q}$ es el voltaje térmico y se estima utilizando las curvas I-V en diferentes condiciones de irradiación y cuyo valor varía entre 1,67 y 1,72. Por esta razón, se establece la hipótesis de que permanece constante y tiene un valor igual a 1.7. Se ve que una disminución en la irradiación conduce a una ligera caída en el voltaje de circuito abierto. En consecuencia, el rendimiento de la celda aumenta con la irradiación incidente si su temperatura permanece estable porque hay un ligero aumento en el voltaje de circuito abierto.

Corrección por temperatura

Isc y Voc muestran una dependencia lineal con la temperatura tal. Suponiendo que la irradiancia operativa permanezca constante ($E=E_c$ W/m²), un aumento en la temperatura real de la celda (T_c) conduce a una disminución en el voltaje a la potencia máxima en la celda con casi ningún aumento en la corriente en este punto. En consecuencia, hay una disminución en la potencia máxima producida.

La corriente de cortocircuito, por otro lado, aumenta ligeramente cuando aumenta la temperatura de la celda. Este aumento puede expresarse mediante el coeficiente de temperatura de Isc (α), tomando como referencia el valor de Isc para una temperatura de celda de 25 °C, de acuerdo con la siguiente relación lineal:

$$I_{sc}(T = T_c, E = E_c) = I_{sc}(T = 25\text{ °C}, E = E_c) \cdot (1 + \alpha (T_c - 25\text{ °C}))$$

El voltaje de circuito abierto disminuye significativamente cuando aumenta la temperatura de la celda, de acuerdo con la ecuación:

$$V_{oc}(T = T_c, E = E_c) = V_{oc}(T = 25\text{ °C}, E = E_c) + \beta (T_c - 25\text{ °C})$$

donde β es el coeficiente de temperatura de Voc. Ambos coeficientes se obtienen de los catálogos técnicos proporcionados por los fabricantes de dispositivos fotovoltaicos.

La variación en la temperatura celular se produce debido a cambios en la temperatura ambiente, así como a cambios en la insolación.

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} E_c$$

Donde T_a es la temperatura del aire seco exterior [°C] y NOCT [°C] representa la temperatura nominal de la celda de operación proporcionada por el fabricante. E_c [W / m²] representa la irradiancia solar a temperatura ambiente, T_a .

Corrección de modelo

El modelo se implementa utilizando la curva de correlación estandarizada obtenida en las ecuaciones:

$$I^* = a_1 \cdot e^{b_1 \cdot V^*} + c_1 \cdot e^{d_1 \cdot V^*}$$

$$I^* = a_2 \cdot e^{b_2 \cdot V^*} + c_2 \cdot e^{d_2 \cdot V^*}$$

Teniendo en cuenta los cambios en los puntos de corriente de cortocircuito Isc (T, E) y voltaje de circuito abierto Voc (T, E) con la temperatura de la celda y la irradiancia incidente mediante los correctores necesarios:

$$I(T, E)^* = a_1 \cdot e^{b_1 \cdot V(T, E)^*} + c_1 \cdot e^{d_1 \cdot V(T, E)^*}$$

$$I(T, E)^* = a_2 \cdot e^{b_2 \cdot V(T, E)^*} + c_2 \cdot e^{d_2 \cdot V(T, E)^*}$$

Donde las variables de voltaje y corriente están estandarizadas de acuerdo con las expresiones:

$$I(T, E)^* = \frac{I(T, E)}{I_{sc}(T, E)}$$

$$V(T, E)^* = \frac{V(T, E)}{V_{oc}(T, E)}$$

La intersección de dos curvas define el punto de máxima potencia para condiciones reales de operación. Número de cada tipo de dispositivo en la muestra de los fabricantes analizados por intervalos de potencia:

Interval	Maximum Power [W]		Number of elements polycrystalline	Number of elements monocrystalline	Number of elements PERC
	Higher Limit	Lower limit			
1	395	317	11	11	5
2	317	239	119	54	6
3	239	161	10	15	4
4	161	83	9	5	0
5	83	5	5	5	0

Manufacturer	Model	Technology	Vmpp (V)	Impp (A)	Voc (V)	Isc (A)
TECHNOSUN	5	Si-Mo	18.57	0.27	22.64	0.29
TECHNOSUN	10	Si-Mo	18.57	0.54	22.64	0.58
TECHNOSUN	20	Si-Mo	17.82	1.12	22.54	1.2
TECHNOSUN	40	Si-Mo	17.69	2.26	22.54	2.42
ATERSA	A 50M	Si-Mo	18.95	2.64	22.46	2.95
ATERSA	A 100M	Si-Mo	18.95	5.28	22.21	5.79
ATERSA	A 200M	Si-Mo	37.18	5.38	44.46	5.78
ATERSA	A 255M	Si-Mo	30.57	8.34	37.76	8.89
ATERSA	A 260M	Si-Mo	30.79	8.44	37.9	8.99
ATERSA	A 270M	Si-Mo	31.44	8.59	38.65	9.07
ATERSA	A 275M	Si-Mo	31.72	8.67	38.98	9.12
ATERSA	A 310M	Si-Mo	36.91	8.4	45.15	8.92
ATERSA	A 320M	Si-Mo	37.56	8.52	46.08	8.99
ATERSA	A 325M	Si-Mo	37.82	8.6	46.43	9.06
ATERSA	A 330M	Si-Mo	38.07	8.67	46.78	9.12
ATERSA	A 5J	Si-Po	17.5	0.29	21	0.31
ATERSA	A 10J	Si-Po	16.5	0.61	21	0.67
ATERSA	A 75M	Si-Po	17.83	4.21	22.6	4.35
ATERSA	A 150P	Si-Po	18.52	8.1	23.2	8.47
ATERSA	A 160P	Si-Po	18.99	8.43	23.4	8.84
ATERSA	A 240P	Si-Po	29.21	8.21	37.16	8.73
ATERSA	SOL A 245P	Si-Po	29.37	8.33	37.38	8.82
ATERSA	SOL A 250P	Si-Po	29.53	8.45	37.6	8.91
ATERSA	SOL A 255P	Si-Po	30.9	8.26	37.3	9.12
ATERSA	GSE A 260P	Si-Po	31	8.39	37.4	9.27
ATERSA	GSE A 270P	Si-Po	31.1	8.69	37.6	9.58
ATERSA	GSE A 300P	Si-Po	36.5	8.22	45	8.89
ATERSA	GSE A 310P	Si-Po	36.7	8.45	45.2	9.14
ATERSA	GSE A 320P	Si-Po	36.8	8.7	45.3	9.42
ATERSA	GSE A 325P	Si-Po	36.85	8.82	45.35	9.55
ATERSA	GSE					

Tabla 8. Número de cada tipo de dispositivo en la muestra de los fabricantes analizados por intervalos de potencia.

2.3.2 Aplicación del modelo

Para simplificar el estudio, se va a trabajar con paquetes de 16 paneles de 325 Wp. Dado que el inversor tiene dos entradas de MPPT independientes. Cada inversor estará conectado a dos ramas en paralelo, cada una con ocho paneles en serie.

Paquete de 5,2 kWp:

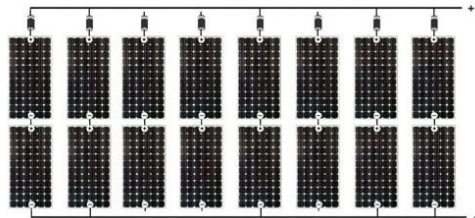


Figura 30. Paquete de 5,2 kWp compuesto por 16 paneles de 325 Wp.

El modelo se aplicará para las 12 zonas climáticas anteriormente mencionadas. Para simplificar la explicación, el modelo mostrado a continuación corresponde con a la ciudad de Cádiz, zona climática A3.

Datos necesarios para la aplicación del modelo:

Número paneles en serie	NPS		8
Número hileras en paralelo	NHP		2

Panel solar suntech 325Wp			
Área de cada captador	A_c	m ²	1,94432
Dimensión captador	Largo	m	1,96
Dimensión captador	Ancho	m	0,992
Potencia nominal captador	Pc	Wp	325
Eficiencia módulo	Efic	%	16,7
Intensidad punto de máxima potencia	Imp	A	8,72
Tensión punto de máxima potencia	Vmp	V	37,3
Intensidad de cortocircuito	Isc	A	9,26
Tensión de circuito abierto	Voc	V	45,9
Coefficiente de temperatura Isc		%/°C	0,067
Coefficiente de temperatura Voc		%/°C	-0,33
Coefficiente de temperatura P		%/°C	-0,41
Temperatura de operación nominal de la célula	TONC	°c	45
Tensión aislamiento panel	Vaisl	1000V	

Emplazamiento			
Latitud	Lat		36,84
Temperatura ambiente máxima	T_amax	°c	35
Temperatura ambiente mínima	T_amin	°c	2,7

	inc	°	35
azimut del campo de captadores (°)	AZ	°	180

Inversor			
Min voltaje MPPT	Vminppt	v	245
Max voltaje MPPT	Vmaxppt	v	800
Eficiencia	Eficienciainv	-	0,971
Potencia	Pinv	kW	5

Tabla 9. Datos para la aplicación del modelo de generación fotovoltaica.

Fórmulas:

$I^* = a \cdot \exp(b \cdot V^*) + c \cdot \exp(d \cdot V^*)$ $I^* = I / I_{CC}$ $V^* = V / V_{CA}$ <p>Garantiza pasar por los puntos de los ejes y puede ser corregido en el punto de máxima potencia</p>
--

Tabla 10. Fórmulas para la aplicación del modelo de generación fotovoltaica.

Coeficientes:

a1	-5,3E-07	a2	-3,2E-05
b1	13,86	b2	10,91
c1	0,9988	c2	0,1968
d1	0,003102	d2	2,191
X1	Fpotencia		
X2	Voltaje		
X1*X2	X2*x2	x1*x1	Voltaje Fpotencia cte
0,00012938	-3,1E-07	-0,1484098	0,000147 0,145524 0,934182

Tabla 11. Coeficientes para la aplicación del modelo de generación fotovoltaica.

Datos extraídos de los ARCHIVOS. MET:

Mes	Día	Hora	Nº paneles en serie	Nº paneles en paralelo	Nº total de paneles	T_ aire ext	I Radiación horizontal (W/m2)
1	1	1	8	2	16	13,1	29,1
1	1	2	8	2	16	12,1	28,1
1	1	3	8	2	16	11,5	27,5
1	1	4	8	2	16	10,8	26,8
1	1	5	8	2	16	10,5	26,5
1	1	6	8	2	16	10	26
1	1	7	8	2	16	9,8	25,8
1	1	8	8	2	16	9,7	25,7
1	1	9	8	2	16	10,8	26,8
1	1	10	8	2	16	12,1	28,1
1	1	11	8	2	16	13,7	29,7
1	1	12	8	2	16	15,5	31,5
1	1	13	8	2	16	17,2	33,2
1	1	14	8	2	16	17,9	33,9
1	1	15	8	2	16	17,8	33,8
1	1	16	8	2	16	17,2	33,2
1	1	17	8	2	16	16,2	32,2
1	1	18	8	2	16	15,2	31,2
1	1	19	8	2	16	14,1	30,1
1	1	20	8	2	16	13,6	29,6
1	1	21	8	2	16	12,5	28,5
1	1	22	8	2	16	12,5	28,5
1	1	23	8	2	16	11,6	27,6
1	1	24	8	2	16	11,3	27,3
1	2	1	8	2	16	11,4	27,4
1	2	2	8	2	16	11,7	27,7
1	2	3	8	2	16	11,6	27,6
1	2	4	8	2	16	11,5	27,5
1	2	5	8	2	16	11,3	27,3
1	2	6	8	2	16	11,7	27,7
1	2	7	8	2	16	11,8	27,8
1	2	8	8	2	16	12,1	28,1

Tabla 12. Datos archivos .MET.

Corrección por Irradiancia:

Corriente de cortocircuito (Isc):

$$Isc(T = 25 \text{ °C}, E = Ec) = \frac{Ec}{1000} \cdot Isc(T = 25 \text{ °C}, E = 1000 \text{ W/m}^2)$$

Efecto de irradiancia en el voltaje de circuito abierto (Voc):

$$Voc(T = 25 \text{ °C}, E = Ec) = Voc(T = 25 \text{ °C}, E = 1000 \text{ W/m}^2) + V_T \cdot \ln \frac{E}{1000}$$

CORRECCIÓN POR IRRADIANCIA						
Mes	Día	Hora	Isc_R	Vca_R	FC_I (R)	FC_V (R)
1	1	1	0	0	0	0
1	1	2	0	0	0	0
1	1	3	0	0	0	0
1	1	4	0	0	0	0
1	1	5	0	0	0	0
1	1	6	0	0	0	0
1	1	7	0	0	0	0
1	1	8	0,647648	41,37781	0,06994	0,901477
1	1	9	2,424529	43,62189	0,261828	0,950368
1	1	10	5,546526	45,0287	0,598977	0,981017
1	1	11	7,290194	45,4934	0,787278	0,991142
1	1	12	7,555896	45,55426	0,815972	0,992468
1	1	13	7,921236	45,63453	0,855425	0,994216
1	1	14	6,725578	45,35636	0,726304	0,988156
1	1	15	4,38408	44,62887	0,473443	0,972307
1	1	16	2,490955	43,66784	0,269002	0,951369
1	1	17	0,647648	41,37781	0,06994	0,901477
1	1	18	0	0	0	0
1	1	19	0	0	0	0
1	1	20	0	0	0	0
1	1	21	0	0	0	0
1	1	22	0	0	0	0
1	1	23	0	0	0	0
1	1	24	0	0	0	0
1	2	1	0	0	0	0
1	2	2	0	0	0	0
1	2	3	0	0	0	0
1	2	4	0	0	0	0
1	2	5	0	0	0	0
1	2	6	0	0	0	0
1	2	7	0	0	0	0
1	2	8	0,464163	40,81152	0,050126	0,88914

Tabla 13. Corrección de producción solar fotovoltaica por irradiancia.

Corrección por temperatura

Corriente de cortocircuito (Isc):

$$Isc(T = Tc, E = Ec) = Isc(T = 25 \text{ °C}, E = Ec) \cdot (1 + \alpha (Tc - 25 \text{ °C}))$$

El voltaje de circuito abierto disminuye significativamente cuando aumenta la temperatura de la celda, de acuerdo con la ecuación:

$$Voc(T = Tc, E = Ec) = Voc(T = 25 \text{ °C}, E = Ec) + \beta (Tc - 25 \text{ °C})$$

La variación en la temperatura celular se produce debido a cambios en la temperatura ambiente, así como a cambios en la insolación.

$$Tc = Ta + \frac{NOCT - 20}{800} Ec$$

						CORRECCIÓN POR TEMPERATURA			
Mes	Día	Hora	T_aire ext	I Radiación horizontal (W/m2)	Temp celda (Tc)	Isc_T	Vca_T	FC_I (T)	FC_V (T)
1	1	1	13,1	29,1	14,009375	9,191811964	47,56474997	0,992636281	1,036269063
1	1	2	12,1	28,1	12,978125	9,185413883	47,72095341	0,991945344	1,039672188
1	1	3	11,5	27,5	12,359375	9,181575034	47,81467547	0,991530781	1,041714063
1	1	4	10,8	26,8	11,6375	9,177096378	47,92401788	0,991047125	1,04409625
1	1	5	10,5	26,5	11,328125	9,175176953	47,97087891	0,990839844	1,045117188
1	1	6	10	26	10,8125	9,171977913	48,04898063	0,990494375	1,04681875
1	1	7	9,8	25,8	10,60625	9,170698296	48,08022131	0,990356188	1,047499375
1	1	8	9,7	25,7	10,503125	9,170058488	48,09584166	0,990287094	1,047839688
1	1	9	10,8	26,8	11,6375	9,177096378	47,92401788	0,991047125	1,04409625
1	1	10	12,1	28,1	12,978125	9,185413883	47,72095341	0,991945344	1,039672188
1	1	11	13,7	29,7	14,628125	9,195650813	47,47102791	0,993050844	1,034227188
1	1	12	15,5	31,5	16,484375	9,207167359	47,18986172	0,994294531	1,028101563
1	1	13	17,2	33,2	18,2375	9,218044098	46,92431588	0,995469125	1,02231625
1	1	14	17,9	33,9	18,959375	9,22522754	46,81497347	0,995952781	1,019934063
1	1	15	17,8	33,8	18,85625	9,221882946	46,83059381	0,995883688	1,020274375
1	1	16	17,2	33,2	18,2375	9,218044098	46,92431588	0,995469125	1,02231625
1	1	17	16,2	32,2	17,20625	9,211646016	47,08051931	0,994778188	1,025719375
1	1	18	15,2	31,2	16,175	9,205247935	47,23672275	0,99408725	1,0291225
1	1	19	14,1	30,1	15,040625	9,198210046	47,40854653	0,993327219	1,032865938
1	1	20	13,6	29,6	14,525	9,195011005	47,48664825	0,99298175	1,0345675
1	1	21	12,5	28,5	13,390625	9,187973116	47,65847203	0,992221719	1,038310938
1	1	22	12,5	28,5	13,390625	9,187973116	47,65847203	0,992221719	1,038310938
1	1	23	11,6	27,6	12,4625	9,182214843	47,79905513	0,991599875	1,04137375
1	1	24	11,3	27,3	12,153125	9,180295418	47,84591616	0,991392594	1,042394688
1	2	1	11,4	27,4	12,25625	9,180935226	47,83029581	0,991461688	1,042054375
1	2	2	11,7	27,7	12,565625	9,182854651	47,78343478	0,991668969	1,041033438
1	2	3	11,6	27,6	12,4625	9,182214843	47,79905513	0,991599875	1,04137375
1	2	4	11,5	27,5	12,359375	9,181575034	47,81467547	0,991530781	1,041714063
1	2	5	11,3	27,3	12,153125	9,180295418	47,84591616	0,991392594	1,042394688
1	2	6	11,7	27,7	12,565625	9,182854651	47,78343478	0,991668969	1,041033438
1	2	7	11,8	27,8	12,66875	9,183494459	47,76781444	0,991738063	1,040693125
1	2	8	12,1	28,1	12,978125	9,185413883	47,72095341	0,991945344	1,039672188

Tabla 14. Corrección de producción solar fotovoltaica por temperatura.

Corrección de modelo

El modelo se implementa utilizando la curva de correlación estandarizada obtenida en las ecuaciones:

$$I^* = a_1 \cdot e^{b_1 \cdot V^*} + c_1 \cdot e^{d_1 \cdot V^*}$$

$$I^* = a_2 \cdot e^{b_2 \cdot V^*} + c_2 \cdot e^{d_2 \cdot V^*}$$

Teniendo en cuenta los cambios en los puntos de corriente de cortocircuito Isc (T, E) y voltaje de circuito abierto Voc (T, E) con la temperatura de la celda y la irradiancia incidente mediante los correctores necesarios:

$$I(T, E)^* = a_1 \cdot e^{b_1 \cdot V(T, E)^*} + c_1 \cdot e^{d_1 \cdot V(T, E)^*}$$

$$I(T, E)^* = a_2 \cdot e^{b_2 \cdot V(T, E)^*} + c_2 \cdot e^{d_2 \cdot V(T, E)^*}$$

Donde las variables de voltaje y corriente están estandarizadas de acuerdo con las expresiones:

$$I(T, E)^* = \frac{I(T, E)}{Isc(T, E)}$$

$$V(T, E)^* = \frac{V(T, E)}{Voc(T, E)}$$

Si se multiplica la Intensidad de máxima potencia por cada factor corrector atribuido a la intensidad, tanto por temperatura como por irradiancia, se obtiene la intensidad real que circula por cada string.

Imp*	FC_I	Imp_real_string
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0,065222	0,603956714
0,941685	0,244352	2,262701421
0,941685	0,559504	5,181008416
0,941685	0,736216	6,817357876
0,941685	0,764004	7,074675674
0,941685	0,801891	7,42550956
0,941685	0,681182	6,307741104
0,941685	0,443999	4,111427471
0,941685	0,252167	2,335065899
0,941685	0,065518	0,606695745
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0	0
0,941685	0,046822	0,433574071

Tabla 15. Intensidad real que circula por cada string.

Lo mismo ocurre con el voltaje, si se multiplica el voltaje de máxima potencia por cada factor corrector atribuido al voltaje, tanto por temperatura como por irradiancia, se obtiene el voltaje real que circula por cada módulo.

Para obtener el voltaje real que circula por cada string, es necesario multiplicar el voltaje real que circula por cada módulo por el número de paneles en serie.

Vmp*	FC_V	Vmp_real_nodulo	Vmp_real_string
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0,76761916	35,2337196	281,8697568
0,812636166	0,80635901	37,01187851	296,0950281
0,812636166	0,82883723	38,04362873	304,3490298
0,812636166	0,83300546	38,23495072	305,8796058
0,812636166	0,82917937	38,05933293	304,4746634
0,812636166	0,82596632	37,91185422	303,2948338
0,812636166	0,81901864	37,5929554	300,7436432
0,812636166	0,80615086	37,00232437	296,0185949
0,812636166	0,7903699	36,27797822	290,2238258
0,812636166	0,75141442	34,48992177	275,9193742
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0	0	0
0,812636166	0,75121221	34,4806404	275,8451232

Tabla 16. Voltaje real que circula por cada string.

La energía producida por cada string se obtiene multiplicando el voltaje por la intensidad.

Imp_real_string	Vmp_real_string	Energia producida string (kWh)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0,603956714	281,8697568	0,170237132
2,262701421	296,0950281	0,669974641
5,181008416	304,3490298	1,576834885
6,817357876	305,8796058	2,085290739
7,074675674	304,4746634	2,154059495
7,42550956	303,2948338	2,252118688
6,307741104	300,7436432	1,89701304
4,111427471	296,0185949	1,217058983
2,335065899	290,2238258	0,677691759
0,606695745	275,9193742	0,16739911
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0,433574071	275,8451232	0,119599293

Tabla 17. Energía producida por cada string.

En este caso, cada string produce al año 5.526 kWh.

También es necesario tener en cuenta el rendimiento del inversor. La eficiencia de trabajo del inversor se calcula mediante el producto de la eficiencia según la ficha técnica y el factor de eficiencia.

				5345,967
Factor trabajo Potencia solar / potencia inv nom	Voltaje trabajo deseado	Fcor_eficien cia	Eficiencia _trabajo	Energía producida string (kWh)
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0,034047426	281,869757	0	0	0
0,133994928	296,095028	0,97218731	0,943994	0,632451959
0,315366977	304,34903	0,99343289	0,964623	1,521051728
0,417058148	305,879606	1,0011973	0,972163	2,027241627
0,430811899	304,474663	1,00199601	0,972938	2,095766615
0,450423738	303,294834	1,00303993	0,973952	2,193454987
0,379402608	300,743643	0,99864631	0,969686	1,839506163
0,243411797	296,018595	0,98617384	0,957575	1,165425016
0,135538352	290,223826	0,9725208	0,944318	0,639956318
0,033479822	275,919374	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0,023919859	275,845123	0	0	0

Tabla 18. Energía producida por cada string teniendo en cuenta el rendimiento del inversor.

Finalmente, la energía producida por cada string al año será de 5.345. Además, cada inversor estará conectado a dos ramas en paralelo.

Por lo tanto la energía anual producida por los 16 paneles será el doble, es decir, serán 10.691 kWh/año.

3 RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS PARA TRES CASOS DE DEMANDA

3.1 Conectores

- Conector doméstico tipo schuko: soporta hasta 16 A, solo apto parare carga lenta.
- Conector SAE J1772 o Tipo 1: existen de nivel 1, el cual soporta hasta 16 A y es apto para recarga lenta, y de nivel 2, el cual soporta hasta 80 A y permite una recarga rápida.
- Conector Mennekes o Tipo 2: en conexión monofásica permite hasta 16 A (recarga lenta) y en conexión trifásica permite hasta 63 A (recarga rápida).



Figura 31. Conector Mennekes.

- Conector único combinado o CCS: admite tanto recarga lenta como rápida.



Figura 32. Conector único combinado o CCS.

- Conector Scame o Tipo 3: admite hasta 32 A (recarga semi-rápida).
- Conector CHAdeMO: está pensado para recarga rápida en corriente continua.

3.2 Tipo de recarga

- Recarga super-lenta: en este caso la corriente se limita a 10 A o menos por no disponer de una base de

recarga con protección. La recarga puede durar entre 10 y 12 horas.

- Recarga lenta: la corriente se limita a 16 A, dando aproximadamente una potencia de 3,6 kW. La recarga puede durar entre 6 y 8 horas.
- Recarga semi-rápida: la recarga se efectúa con una potencia de entre 22 y 25 kW. La recarga tarda 1 hora aproximadamente.
- Recarga rápida: la potencia demandada es alta, entre 44 y 50 kW. La recarga tarda media hora aproximadamente.
- Recarga super-rápida: la potencia de recarga es aproximadamente el doble al caso anterior. Con solo 20 minutos se recargan unos 250 km de autonomía.
- Recarga ultra-rápida: es aún algo experimental, las baterías se cargarían en menos de 10 min.

3.3 Modos de carga

Los modos de carga depende de la comunicación existente entre el coche y el punto de recarga. Además, influye el control disponible durante la carga, en ocasiones es posible pararla, reanudarla, etc.

- Modo 1, no existe conexión con la red. Se emplea un conector schuko.
- Modo 2, baja comunicación con la red. Existe un dispositivo intermedio que ayuda a controlar si la carga se efectúa correctamente. Es posible usar un conector schuko.
- Modo 3, alta comunicación con la red. Los dispositivos de control y protecciones se encuentran dentro del punto de recarga. Conectores empleados: SAE J1772, Mennekes, Combinado o Scame).
- Modo 4, alta comunicación con la red. Hay un conversor a corriente continua y solo se aplica a recarga rápida.

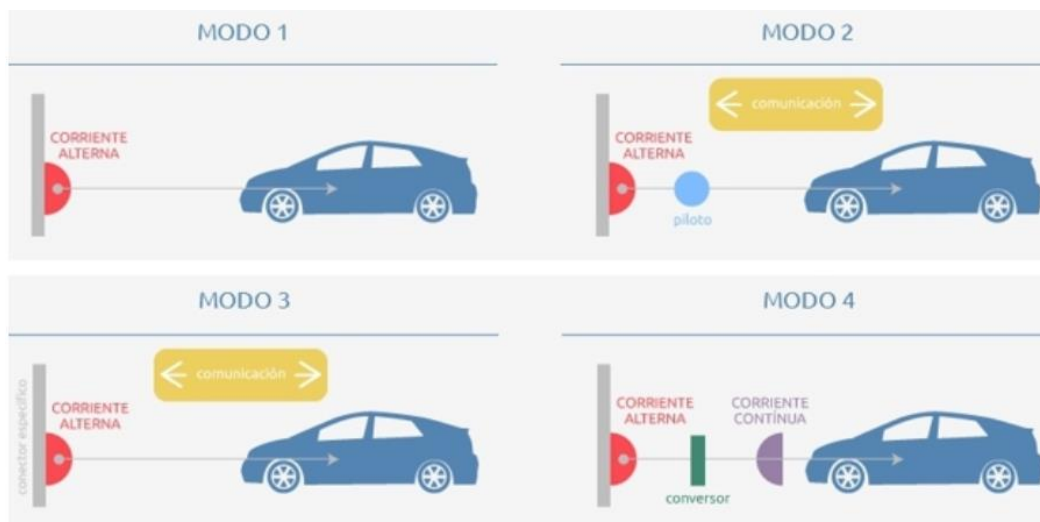


Figura 33. Modos de carga de un coche eléctrico.

3.4 Dimensión de una planta FV y Autoconsumo

De acuerdo con lo previsto en el artículo 9.1 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, se entenderá por autoconsumo, el consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica proveniente de instalaciones de producción próximas a las de consumo y asociadas a los mismos.

La radiación solar que incide en un plano horizontal de la superficie terrestre en un día claro al mediodía alcanza un valor máximo de 1.000 W/m² aproximadamente. Este valor depende del lugar y, sobre todo, de

la nubosidad.

La Tierra gira alrededor del sol describiendo una órbita elíptica, y, en consecuencia, en los meses de verano la radiación que alcanza la atmósfera es mayor que en los meses de invierno, por lo tanto, en verano las horas en las que la fotovoltaica funciona es mayor que en los meses de invierno.

Para saber que parte de la demanda eléctrica es cubierta por los paneles fotovoltaicos en autoconsumo instantáneo, hay que observar en función de la radiación solar, las horas que la fotovoltaica produce en cada mes del año, (por ejemplo, en el mes de febrero produce de 8:15 a 16:15).

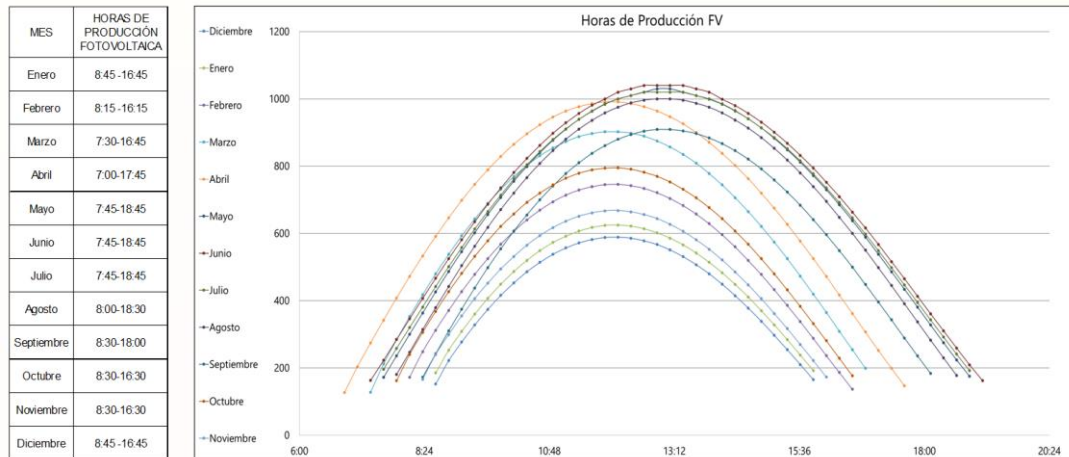


Figura 34. Horas de producción solar fotovoltaica. Elaboración propia: datos sacados de la comisión europea, programa PVGIS.

Por lo tanto, los paneles solares fotovoltaicos solo generan energía para abastecer el consumo diurno y para prolongar el ahorro solar es necesario instalar baterías de apoyo.

Curva producción FV vs Demanda diurna

Para que una instalación solar fotovoltaica sea rentable es importante que se aproveche al máximo la energía generada por los paneles. Dado que los paneles solo producen energía durante las horas de sol, es fundamental saber cual es el consumo durante las horas de producción solar fotovoltaica.

Según un artículo publicado por Radiotelevisión Española:

“El recibo de la luz del usuario medio ha subido un 85,7% en los últimos 15 años, al pasar de 43,47 euros de media en 2003 a 80,73 euros en 2018, según un estudio hecho por Facua-Consumidores en Acción, justo cuando el precio de la electricidad marca máximos anuales.”

Por esta razón, cuanto menos energía sea demandada de la red, menor será la factura eléctrica mensual, que cada año es mas cara. Con los paneles fotovoltaicos no solo se ahorra en la factura de eléctrica, sino que es una forma de fijar el precio del €/kWh.

Una forma sencilla de valorar si una planta solar fotovoltaica es adecuada para el usuario, es mediante la siguiente gráfica:

En una instalación ideal el consumo diurno y la energía producida por los paneles es la misma:

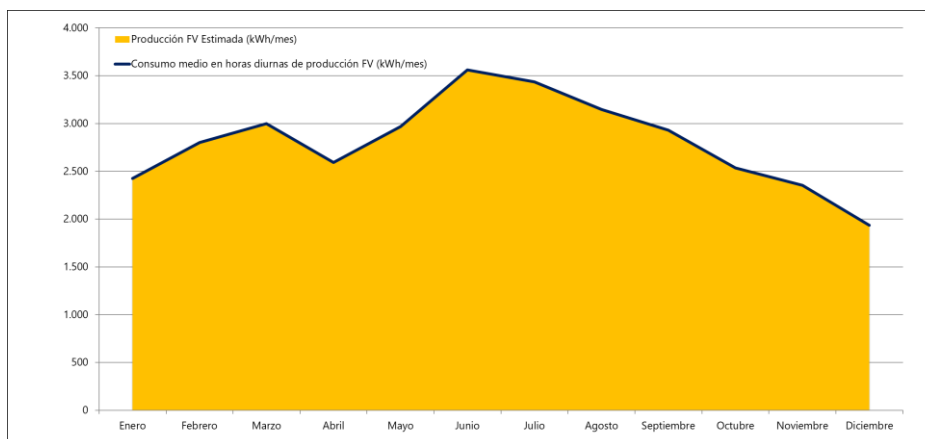


Figura 35. Autoconsumo: caso ideal.

Si, por el contrario, la energía producida es superior a la demandada, esta energía se perdería, o bien sería compensada, pero esta opción no es del todo rentable, ya que el precio de producirla es mayor que el beneficio obtenido en su venta.

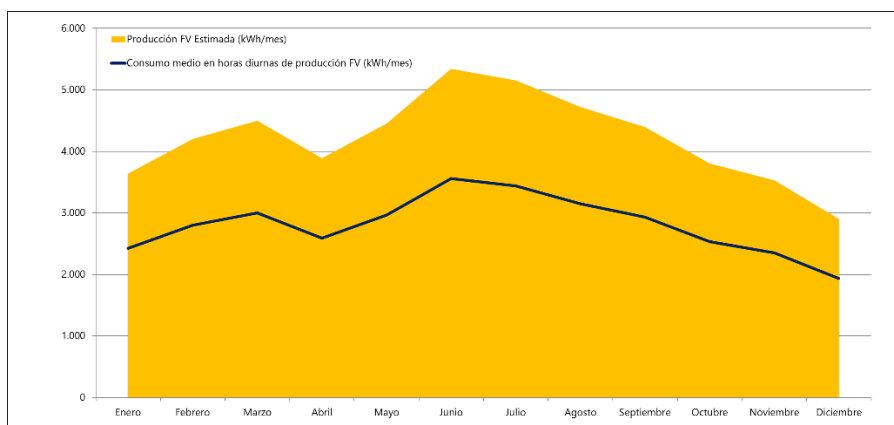


Figura 36. Autoconsumo: generación > demanda.

El último caso posible, donde los paneles no dan la suficiente energía para cubrir la demanda, tampoco es conveniente, ya que la energía obtenida de la red eléctrica es más cara que la producida por los paneles.

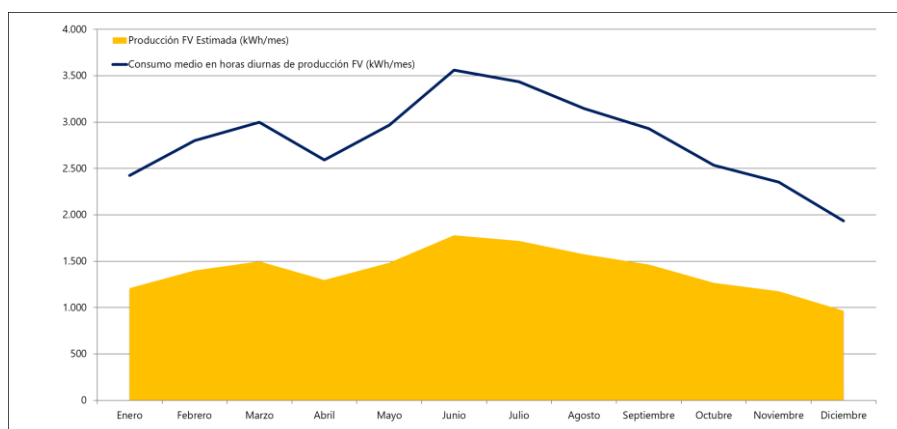


Figura 37. Autoconsumo: generación < demanda.

3.5 Cálculo de baterías

Instalación aislada

Datos necesarios:

- Energía demandada
- Días de autonomía deseados (2-5 días)
- Voltaje del Sistema
- Profundidad de descarga: porcentaje de lo que se van a descargar las baterías durante el periodo de funcionamiento.

Potencia de la Instalación (W)	Voltaje de c.c. de trabajo del sistema (V)
<500	12
500-2500	24
2500-5000	48

Tabla 19. Voltaje de trabajo en función de la potencia de la instalación solar fotovoltaica.

Cálculos:

- Capacidad 1 (Wh): Energía necesaria (Wh/día) x días de autonomía (días)
- Capacidad 2 (Ah): Capacidad 1 (Wh) / Voltaje del sistema (V)
- Capacidad 3 (Ah): Capacidad 2 (Ah) / profundidad de descarga

Finalmente, la capacidad 3 es la necesaria para poder determinar el tamaño del banco de baterías.

Para la elaboración de este proyecto se ha elegido baterías BYD de 2,5 kW. Con las baterías de 2,5 kW se formarán paquetes de baterías de los siguientes tamaños:

Tamaño Baterías
0,00 kW
2,50 kW
5,00 kW
7,50 kW
10,00 kW
12,50 kW
15,00 kW
17,50 kW
20,00 kW
22,50 kW
25,00 kW
27,50 kW
30,00 kW
32,50 kW
35,00 kW
37,50 kW
40,00 kW
42,50 kW
45,00 kW
47,50 kW
50,00 kW

Tabla 20. Bancos de baterías contemplados en el proyecto.

Instalación conectada a la red eléctrica

En una instalación solar fotovoltaica conectada a la red el tamaño del banco de baterías no tiene estrictamente un tamaño determinado. Para calcular que número de baterías es el más adecuado para cada caso en particular es necesario tener en cuenta el precio del kWh demandado a la red, con el fin de maximizar el ahorro y reducir su % de cobertura.

3.6 Tarifas eléctricas

Tarifas de baja tensión

La tarifa 2.0 A / 2.0 DHS / 2.0 DHA es aquella que se aplica a suministros con una potencia contratada inferior a 10 kW.

La tarifa 2.1 A / 2.1 DHA es aquella que se aplica a suministros con potencias contratadas entre 10 y 15 kW.

	P1
Término Energía €/kWh Impuesto Incluido (5,11%)	0,185325 €
Coste kWh Periodos	0,176315 €

Tabla 21. Precio periodo tarifa: 2.1 A endesa enero 2019.

La tarifa 3.0 A se caracteriza por tener 3 periodos de potencia y se aplica a suministros con potencias contratadas entre 15 y 450 kW.



Zona						
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
Península	18-22 h	8-18 h 22-24 h	0-8 h	11-15 h	8-11 h 15-24 h	0-8 h
Baleares	18-22 h	8-18 h 22-24 h	0-8 h	18-22 h	8-18 h 22-24 h	0-8 h
Canarias	18-22 h	8-18 h 22-24 h	0-8 h	11-15 h	8-11 h 15-24 h	0-8 h
Ceuta y Melilla	19-23 h	0-1 h 9-19 h 23-24 h	1-9 h	11-15 h	9-11 h 15-24 h 0-1 h	1-9 h

Figura 38. Periodos tarifa 3.0 A.

	P1	P2	P3
Término Energía €/kWh Impuesto Incluido (5,11%)	0,112446 €	0,088923 €	0,073954 €
Coste kWh Periodos	0,106979 €	0,084600 €	0,070359 €

Tabla 22. Precio periodo tarifa: 3.0 A endesa enero 2019.

Tarifas de alta tensión

La tarifa 3.1 A se caracteriza por tener 3 periodos de potencia y se aplica a suministros con potencias contratadas iguales o inferiores a 450 kW. La potencia contratada en cada periodo es igual o mayor al periodo anterior, de manera que $P1 \leq P2 \leq P3$.

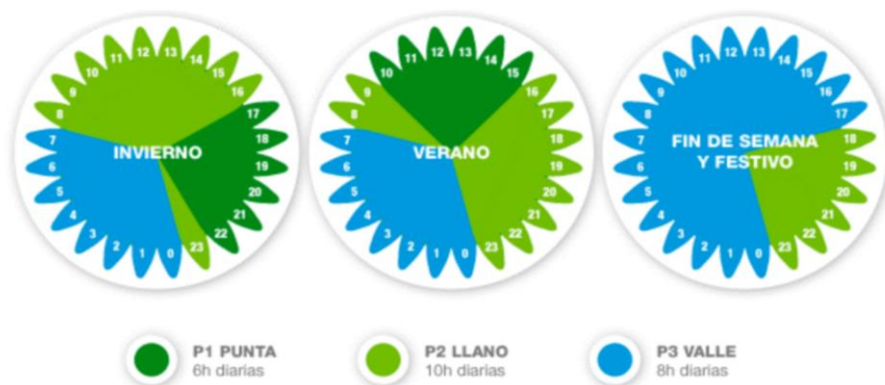


Figura 39. Periodos tarifa 3.1 A.

	P1	P2	P3
Término Energía €/kWh Impuesto Incluido (5,11%)	0,096836 €	0,085893 €	0,056909 €
Coste kWh Periodos	0,092129 €	0,081718 €	0,054142 €

Tabla 23. Precio periodo tarifa: 3.1 A endesa enero 2019.

Las tarifas 6.1 A / 6.2 A / 6.3 A / 6.4 A se caracterizan por tener 6 periodos de potencia y se aplica a suministros con potencias contratadas superiores a 450 kW.

Horas / Meses	B.X													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Primera quincena junio	Segunda quincena junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Fin de semana y festivos
H1 (00-01h)	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
H2 (01-02h)	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
H3 (02-03h)	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
H4 (03-04h)	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
H5 (04-05h)	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
H6 (05-06h)	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
H7 (06-07h)	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
H8 (07-08h)	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
H9 (08-09h)	P2	P2	P4	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P4	P2	P6
H10 (09-10h)	P2	P2	P4	P5	P5	P3	P2	P2	P6	P3	P5	P4	P2	P6
H11 (10-11h)	P2	P2	P4	P5	P5	P3	P2	P2	P6	P3	P5	P4	P2	P6
H12 (11-12h)	P2	P2	P4	P5	P5	P3	P2	P2	P6	P3	P5	P4	P2	P6
H13 (12-13h)	P2	P2	P4	P5	P5	P3	P2	P2	P6	P3	P5	P4	P2	P6
H14 (13-14h)	P2	P2	P4	P5	P5	P3	P2	P2	P6	P3	P5	P4	P2	P6
H15 (14-15h)	P2	P2	P4	P5	P5	P3	P2	P2	P6	P3	P5	P4	P2	P6
H16 (15-16h)	P2	P2	P4	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P4	P2	P6
H17 (16-17h)	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P3	P2	P6
H18 (17-18h)	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P3	P2	P6
H19 (18-19h)	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P3	P2	P6
H20 (19-20h)	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P3	P2	P6
H21 (20-21h)	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P3	P2	P6
H22 (21-22h)	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P3	P2	P6
H23 (22-23h)	P2	P2	P4	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P4	P2	P6
H24 (23-24h)	P2	P2	P4	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P4	P2	P6

Figura 40. Periodos tarifa 6.1 A.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Término Energía €/kWh Impuesto Incluido (5,11%)	0,107182 €	0,091317 €	0,082729 €	0,071667 €	0,064229 €	0,055113 €
Coste kWh Periodos	0,101971 €	0,086878 €	0,078707 €	0,068183 €	0,061106 €	0,052434 €

Tabla 24. Precio periodo tarifa: 6.1 A endesa enero 2019.

3.7 Instalación conectada a la red

3.7.1 Ahorro en término de energía en la factura eléctrica sin baterías

En una instalación fotovoltaica conectada a la red sin baterías, en el caso de que los paneles fotovoltaicos no dieran la suficiente energía como para cubrir la demanda, la red eléctrica sería la única fuente de energía disponible.

Por lo tanto, en una instalación solar fotovoltaica sin baterías, la demanda del cliente es abastecida gracias a los paneles y la red eléctrica. Dado que, en una instalación convencional, toda la demanda es cubierta por la red eléctrica, aquella fracción de la demanda cubierta por los paneles a lo largo del año será el ahorro anual en energía eléctrica.

Además, aquella energía generada por la instalación fotovoltaica no empleada en cubrir la demanda será vertida a la red por un precio aproximado de 0,06 €/kWh.

El ahorro depende de la ubicación de la instalación, del tamaño de la instalación y del tipo de factura del cliente.

Suposiciones:

	Tamaño Planta FV	Ubicación	Tarifa	Tamaño Baterías
Caso 1	20,80 kWp	Cádiz A3	2.1 A	0,00 kW
Caso 2	20,80 kWp	Cádiz A3	2.1 A	0,00 kW
Caso 3	20,80 kWp	Cádiz A3	2.1 A	0,00 kW

Tabla 25. Suposiciones para el cálculo del ahorro en término de energía en la factura eléctrica de un edificio conectado a la red eléctrica sin baterías.

Objetivo:

El objetivo de este apartado es calcular el ahorro total anual que supone la instalación de una planta fotovoltaica sin baterías en un edificio con conexión a la red eléctrica.

Caso 1: Centro comercial

13292,729 kWh	42767,738 kWh	40898,660 kWh	11423,651 kWh	346,39 €
Energía Demandada (kWh)	Energía Producida (kWh)	Energía volcada a la red (kWh)	SIN BATERIAS	
Caso 1 Centro comercial	20,80 kWp	SIN BATERIAS	Demanda final a la red eléctrica	Ahorro Término Energía €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
3,600	0,000	0,000	3,600	0,00000 €
3,600	0,000	0,000	3,600	0,00000 €
3,584	5,060	1,475	0,000	0,66424 €
0,000	12,168	12,168	0,000	0,00000 €
0,000	16,218	16,218	0,000	0,00000 €
4,800	16,766	11,966	0,000	0,88956 €
6,539	17,548	11,009	0,000	1,21184 €
2,557	14,716	12,159	0,000	0,47394 €
0,392	9,323	8,931	0,000	0,07267 €
0,000	5,120	5,120	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
5,500	0,000	0,000	5,500	0,00000 €
7,930	0,000	0,000	7,930	0,00000 €
3,957	0,000	0,000	3,957	0,00000 €
1,485	0,000	0,000	1,485	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
Ahorro Anual Término Energía sin baterías €	346,39 €	Ahorro Anual Venta Excedentes sin baterías €	2.453,92 €	

Tabla 26. Ahorro en término de energía en la factura eléctrica sin baterías para el Caso 1.

En la tabla 26 se pueden observar los siguientes resultados anuales:

- Energía demandada por el centro comercial (kWh)=13.292,729 kWh.
- Energía producida por la instalación fotovoltaica de 20,8 kWp (kWh)=42.767,738 kWh.
- Energía producida por los paneles no consumida, y, por lo tanto, vertida a la red=40.898,660 kWh.
- Energía demandada a la red eléctrica=11.423,65 kWh.

El ahorro anual en término de energía se calcula multiplicando la energía producida por los paneles que ha sido consumida por el cliente y el precio del kWh.

El ahorro anual por la venta de excedentes se calcula multiplicando la energía vertida a la red por un precio aproximado de 0,06 €/kWh.

Caso 2: Oficinas

33665,411 kWh	42767,738 kWh	38315,051 kWh	29212,724 kWh	825,19 €
---------------	---------------	---------------	---------------	----------

Energía Demandada (kWh)	Energía Producida (kWh)	Energía volcada a la red (kWh)	SIN BATERIAS	
Caso 2 Oficinas	20,80 kWp	SIN BATERIAS	Demanda final a la red eléctrica	Ahorro Término Energía €
16,140	0,000	0,000	16,140	0,00000 €
5,971	0,000	0,000	5,971	0,00000 €
2,852	0,000	0,000	2,852	0,00000 €
2,154	0,000	0,000	2,154	0,00000 €
1,627	0,000	0,000	1,627	0,00000 €
2,513	0,000	0,000	2,513	0,00000 €
12,789	0,000	0,000	12,789	0,00000 €
11,243	0,000	0,000	11,243	0,00000 €
8,574	5,060	0,000	3,514	0,93767 €
2,449	12,168	9,720	0,000	0,45382 €
0,175	16,218	16,043	0,000	0,03241 €
4,500	16,766	12,266	0,000	0,83396 €
14,089	17,548	3,458	0,000	2,61110 €
11,143	14,716	3,573	0,000	2,06510 €
8,596	9,323	0,728	0,000	1,59300 €
0,000	5,120	5,120	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
5,098	0,000	0,000	5,098	0,00000 €
21,769	0,000	0,000	21,769	0,00000 €
13,577	0,000	0,000	13,577	0,00000 €
7,738	0,000	0,000	7,738	0,00000 €
6,372	0,000	0,000	6,372	0,00000 €
5,545	0,000	0,000	5,545	0,00000 €
3,900	0,000	0,000	3,900	0,00000 €

Ahorro Anual Término Energía sin baterías €	825,19 €	Ahorro Anual Venta Excedentes sin baterías €	2.298,90 €
--	-----------------	---	-------------------

Tabla 27. Ahorro en término de energía en la factura eléctrica sin baterías para el Caso 2.

En la tabla 27 se pueden observar los siguientes resultados anuales:

- Energía demandada por el centro comercial (kWh)=33.665,411 kWh.
- Energía producida por la instalación fotovoltaica de 20,8 kWp (kWh)=42.767,738 kWh.
- Energía producida por los paneles no consumida, y, por lo tanto, vertida a la red=38.315,051 kWh.

• Energía demandada a la red eléctrica=29.2121724 kWh.

El ahorro anual en término de energía se calcula multiplicando la energía producida por los paneles que ha sido consumida por el cliente y el precio del kWh.

El ahorro anual por la venta de excedentes se calcula multiplicando la energía vertida a la red por un precio aproximado de 0,06 €/kWh.

Caso 3: Hotel

15980,485 kWh	42767,738 kWh	39243,992 kWh	12456,739 kWh	653,04 €
Energía Demandada (kWh)	Energía Producida (kWh)	Energía volcada a la red (kWh)	SIN BATERIAS	
Caso 3 Hotel	20,80 kWp	SIN BATERIAS	Demanda final a la red eléctrica	Ahorro Término Energía €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
2,100	0,000	0,000	2,100	0,00000 €
4,500	0,000	0,000	4,500	0,00000 €
7,200	0,000	0,000	7,200	0,00000 €
7,200	5,060	0,000	2,140	0,93767 €
4,800	12,168	7,368	0,000	0,88956 €
0,900	16,218	15,318	0,000	0,16679 €
2,100	16,766	14,666	0,000	0,38918 €
5,100	17,548	12,448	0,000	0,94516 €
7,200	14,716	7,516	0,000	1,33434 €
7,200	9,323	2,123	0,000	1,33434 €
0,900	5,120	4,220	0,000	0,16679 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000 €
3,600	0,000	0,000	3,600	0,00000 €
3,600	0,000	0,000	3,600	0,00000 €
3,600	0,000	0,000	3,600	0,00000 €
3,600	0,000	0,000	3,600	0,00000 €

Ahorro Anual Término Energía sin baterías €	653,04 €	Ahorro Anual Venta Excedentes sin baterías €	2.354,64 €
---	-----------------	--	-------------------

Tabla 28. Ahorro en término de energía en la factura eléctrica sin baterías para el Caso 3.

En la tabla 28 se pueden observar los siguientes resultados anuales:

- Energía demandada por el centro comercial (kWh)=15.980,485 kWh.
- Energía producida por la instalación fotovoltaica de 20,8 kWp (kWh)=42.767,738 kWh.
- Energía producida por los paneles no consumida, y, por lo tanto, vertida a la red=39.243,992 kWh.
- Energía demandada a la red eléctrica=12.456,739 kWh.

El ahorro anual en término de energía se calcula multiplicando la energía producida por los paneles que ha sido consumida por el cliente y el precio del kWh.

El ahorro anual por la venta de excedentes se calcula multiplicando la energía vertida a la red por un precio aproximado de 0,06 €/kWh.

3.7.2 Ahorro en término de energía con baterías

En una instalación fotovoltaica conectada a la red con baterías, en el caso de que los paneles fotovoltaicos no dieran la suficiente energía como para cubrir la demanda, la energía se tomaría de las baterías, y en un último caso de la red eléctrica.

Por lo tanto, en una instalación solar fotovoltaica con baterías, la demanda del cliente es abastecida gracias a los paneles, las baterías y la red eléctrica. Dado que, en una instalación convencional, toda la demanda es cubierta por la red eléctrica, aquella fracción de la demanda cubierta por los paneles y las baterías a lo largo del año será el ahorro anual en energía eléctrica.

Además, aquella energía generada por la instalación fotovoltaica no empleada en cubrir la demanda o en cargar las baterías será vertida a la red por un precio aproximado de 0,06 €/kWh.

El ahorro depende de la ubicación de la instalación, del tamaño de la instalación y del tipo de factura del cliente y del número de baterías instaladas.

Por último, dado que la instalación está conectada a la red eléctrica y que la energía durante la noche es más barata que durante el día, se va a considerar que cada día a las 00:00 las baterías se cargan completamente gracias a la red eléctrica.

Suposiciones:

	Tamaño Planta FV	Ubicación	Tarifa	Tamaño Baterías
Caso 1	20,80 kWp	Cádiz A3	2.1 A	5,00 kW
Caso 2	20,80 kWp	Cádiz A3	2.1 A	5,00 kW
Caso 3	20,80 kWp	Cádiz A3	2.1 A	5,00 kW

Tabla 29. Suposiciones para el cálculo del ahorro en término de energía en la factura eléctrica de un edificio conectado a la red eléctrica con baterías.

Objetivo:

El objetivo de este apartado es calcular el ahorro total anual que supone la instalación de una planta fotovoltaica con baterías en un edificio con conexión a la red eléctrica.

Caso 1: Centro comercial

13292,729 kWh		42767,738 kWh		40898,660 kWh		39460,917 kWh		11423,651 kWh		40898,660 kWh		9611,860 kWh		682,16 €	
Energía Demandada (kWh)	Energía Producida (kWh)	Energía volcada a la red (kWh)	Energía volcada a la red (kWh)	Demanda no cubierta por autoconsumo	Sobra FV	CON BATERIAS					Ahorro Término Energía €				
Caso 1 Centro comercial	20,80 kWp	SIN BATERIAS	CON BATERIAS			Estado batería	Demanda final a la red eléctrica								
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
3,600	0,000	0,000	0,000	3,600	0,000	1,400	0,000				0,66717 €				
3,600	0,000	0,000	0,000	3,600	0,000	0,200	2,400				0,22239 €				
3,584	5,060	1,475	0,000	0,000	1,475	1,675	0,000				0,66424 €				
0,000	12,168	12,168	8,844	0,000	12,168	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	16,218	16,218	16,218	0,000	16,218	5,000	0,000				0,00000 €				
4,800	16,766	11,966	11,966	0,000	11,966	5,000	0,000				0,88956 €				
6,539	17,548	11,009	11,009	0,000	11,009	5,000	0,000				1,21184 €				
2,557	14,716	12,159	12,159	0,000	12,159	5,000	0,000				0,47394 €				
0,392	9,323	8,931	8,931	0,000	8,931	5,000	0,000				0,07267 €				
0,000	5,120	5,120	5,120	0,000	5,120	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000				0,00000 €				
5,500	0,000	0,000	0,000	5,500	0,000	5,000	5,500				0,00000 €				
7,930	0,000	0,000	0,000	7,930	0,000	0,200	3,130				0,88956 €				
3,957	0,000	0,000	0,000	3,957	0,000	0,200	3,957				0,00000 €				
1,485	0,000	0,000	0,000	1,485	0,000	0,200	1,485				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000				0,00000 €				
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000				0,00000 €				
0,000	3,297	3,297	0,000	0,000	3,297	3,497	0,000				0,00000 €				

Ahorro Anual Término Energía con baterías €	682,16 €	Ahorro Anual Venta Excedentes con baterías €	2.367,66 €
Ahorro Anual Término Energía sin baterías €	346,39 €	Ahorro Anual Venta Excedentes sin baterías €	2.453,92 €

Tabla 30. Ahorro en término de energía en la factura eléctrica con baterías para el Caso 1.

En la tabla 30 se pueden observar los siguientes resultados anuales:

- Energía demandada por el centro comercial (kWh)=13.292,729 kWh.
- Energía producida por la instalación fotovoltaica de 20,8 kWp (kWh)=42.767,738 kWh.
- Energía producida por los paneles no consumida, y, por lo tanto, vertida a la red=40.898,660 kWh.
- Energía demandada a la red eléctrica=9.611,860 kWh.

El ahorro anual en término de energía se calcula multiplicando la energía producida por los paneles que ha sido consumida por el cliente y el precio del kWh.

El ahorro anual por la venta de excedentes se calcula multiplicando la energía vertida a la red por un precio aproximado de 0,06 €/kWh.

Caso 2: Oficinas

33665,411 kWh	42767,738 kWh	38315,051 kWh	36570,838 kWh	29212,724 kWh	38315,051 kWh	27456,050 kWh	1.150,75 €
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	------------

Energía Demandada (kWh) Caso 2 Oficinas	Energía Producida (kWh) 20,80 kWp	Energía volcada a la red (kWh) SIN BATERIAS	Energía volcada a la red (kWh) CON BATERIAS	Demanda no cubierta por autoconsumo	Sobra FV	CON BATERIAS		
						Estado batería	Demanda final a la red eléctrica	Ahorro Término Energía €
16,140	0,000	0,000	0,000	16,140	0,000	5,000	21,140	-0,92662 €
5,971	0,000	0,000	0,000	5,971	0,000	0,200	1,171	0,88956 €
2,852	0,000	0,000	0,000	2,852	0,000	0,200	2,852	0,00000 €
2,154	0,000	0,000	0,000	2,154	0,000	0,200	2,154	0,00000 €
1,627	0,000	0,000	0,000	1,627	0,000	0,200	1,627	0,00000 €
2,513	0,000	0,000	0,000	2,513	0,000	0,200	2,513	0,00000 €
12,789	0,000	0,000	0,000	12,789	0,000	0,200	12,789	0,00000 €
11,243	0,000	0,000	0,000	11,243	0,000	0,200	11,243	0,00000 €
8,574	5,060	0,000	0,000	3,514	0,000	0,200	3,514	0,93767 €
2,449	12,168	9,720	4,920	0,000	9,720	5,000	0,000	0,45382 €
0,175	16,218	16,043	16,043	0,000	16,043	5,000	0,000	0,03241 €
4,500	16,766	12,266	12,266	0,000	12,266	5,000	0,000	0,83396 €
14,089	17,548	3,458	3,458	0,000	3,458	5,000	0,000	2,61110 €
11,143	14,716	3,573	3,573	0,000	3,573	5,000	0,000	2,06510 €
8,596	9,323	0,728	0,728	0,000	0,728	5,000	0,000	1,59300 €
0,000	5,120	5,120	5,120	0,000	5,120	5,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000	0,00000 €
5,098	0,000	0,000	0,000	5,098	0,000	0,200	0,298	0,88956 €
21,769	0,000	0,000	0,000	21,769	0,000	0,200	21,769	0,00000 €
13,577	0,000	0,000	0,000	13,577	0,000	5,000	18,377	-0,88956 €
7,738	0,000	0,000	0,000	7,738	0,000	0,200	2,938	0,88956 €
6,372	0,000	0,000	0,000	6,372	0,000	0,200	6,372	0,00000 €
5,545	0,000	0,000	0,000	5,545	0,000	0,200	5,545	0,00000 €
3,900	0,000	0,000	0,000	3,900	0,000	0,200	3,900	0,00000 €
1,550	0,000	0,000	0,000	1,550	0,000	0,200	1,550	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000	0,00000 €
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000	0,00000 €
0,000	3,297	3,297	0,000	0,000	3,297	3,497	0,000	0,00000 €

Ahorro Anual Término Energía con baterías €	1.150,75 €	Ahorro Anual Venta Excedentes con baterías €	2.194,25 €
Ahorro Anual Término Energía sin baterías €	825,19 €	Ahorro Anual Venta Excedentes sin baterías €	2.298,90 €

Tabla 31. Ahorro en término de energía en la factura eléctrica con baterías para el Caso 2.

En la tabla 31 se pueden observar los siguientes resultados anuales:

- Energía demandada por el centro comercial (kWh)=33.665,411 kWh.
- Energía producida por la instalación fotovoltaica de 20,8 kWp (kWh)=42.767,738 kWh.
- Energía producida por los paneles no consumida, y, por lo tanto, vertida a la red=38.315,051 kWh.

Objetivo: estudiar y comparar la procedencia de la energía suministrada a cada edificio para satisfacer la demanda y como afecta la presencia de baterías en una instalación solar fotovoltaica.

Caso 1: Centro comercial

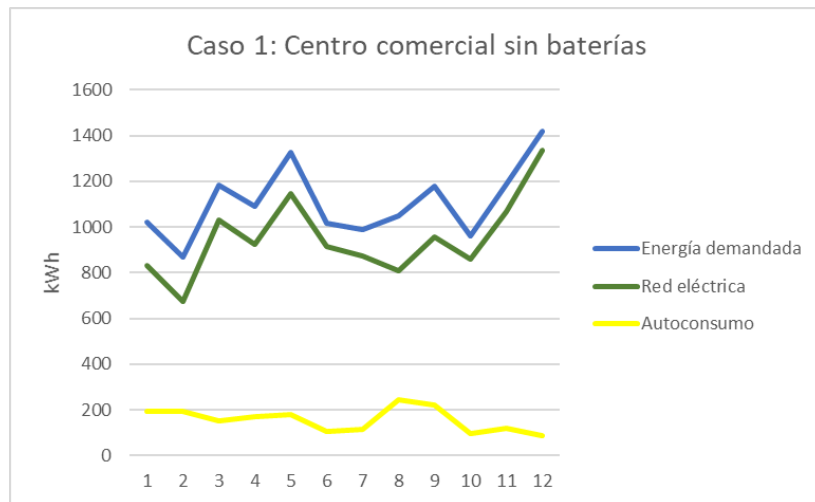


Figura 41. Procedencia de la energía sin baterías para el Caso 1.

La figura 41 muestra de donde procede la energía para cubrir la demanda asociada a la recarga de coches eléctricos en el Caso 1 (centro comercial), tal y como se puede observar, aquella energía demandada no cubierta por los paneles solares es suministrada por la red eléctrica.

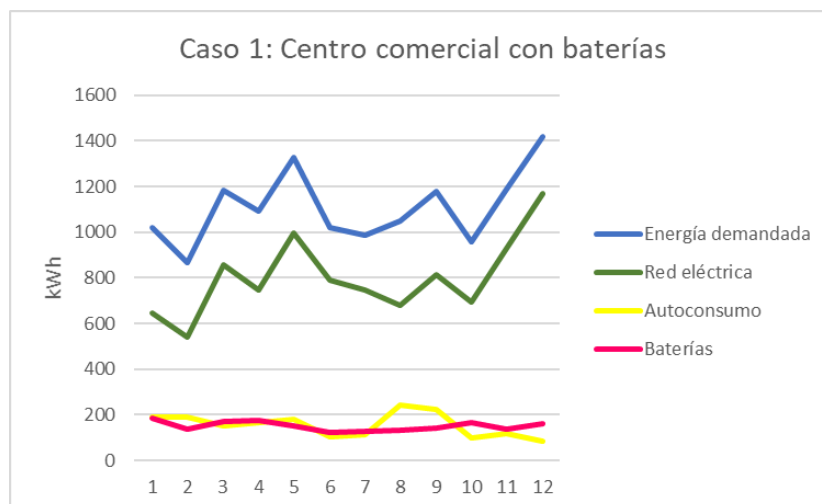


Figura 42. Procedencia de la energía con baterías para el Caso 1.

La figura 42 muestra de donde procede la energía para cubrir la demanda asociada a la recarga de coches eléctricos en el Caso 1 (centro comercial), tal y como se puede observar, aquella energía demandada no cubierta por los paneles solares, ni por las baterías es suministrada por la red eléctrica.

CASO 1		
	Sin baterías	Con baterías
Red eléctrica	85,94%	72,31%
Autoconsumo	14,06%	14,06%
Baterías		13,63%
	100,00%	100,00%

Tabla 33. Comparativa de la procedencia de la energía con y sin baterías para el Caso 1.

Caso 2: Oficinas

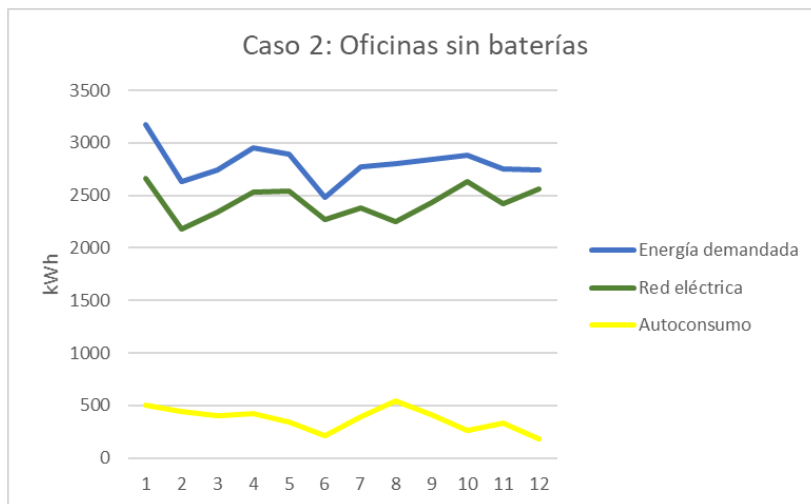


Figura 43. Procedencia de la energía sin baterías para el Caso 2.

La figura 43 muestra de donde procede la energía para cubrir la demanda asociada a la recarga de coches eléctricos en el Caso 2 (oficinas), tal y como se puede observar, aquella energía demandada no cubierta por los paneles solares es suministrada por la red eléctrica.

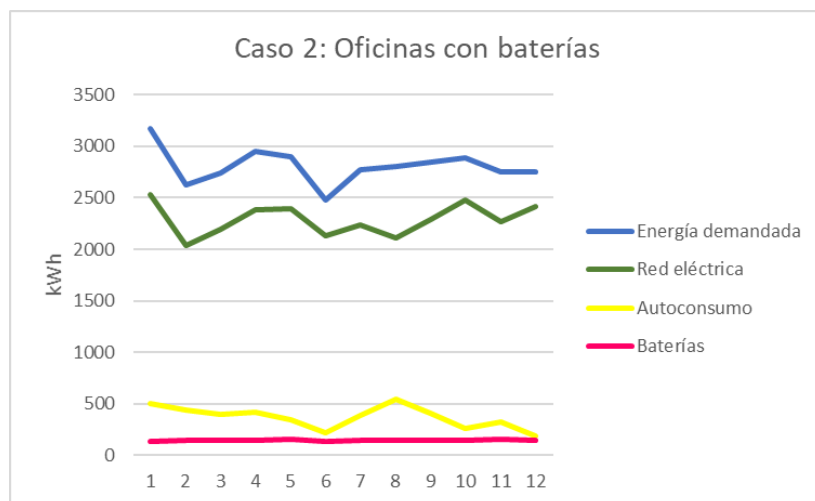


Figura 44. Procedencia de la energía con baterías para el Caso 2.

La figura 44 muestra de donde procede la energía para cubrir la demanda asociada a la recarga de coches eléctricos en el Caso 2 (oficinas), tal y como se puede observar, aquella energía demanda no cubierta por

los paneles solares, ni por las baterías es suministrada por la red eléctrica.

CASO 2		
	Sin baterías	Con baterías
Red eléctrica	86,77%	81,56%
Autoconsumo	13,23%	13,23%
Baterías		5,22%
	100,00%	100,00%

Tabla 34. Comparativa de la procedencia de la energía con y sin baterías para el Caso 2.

Caso 3: Hotel

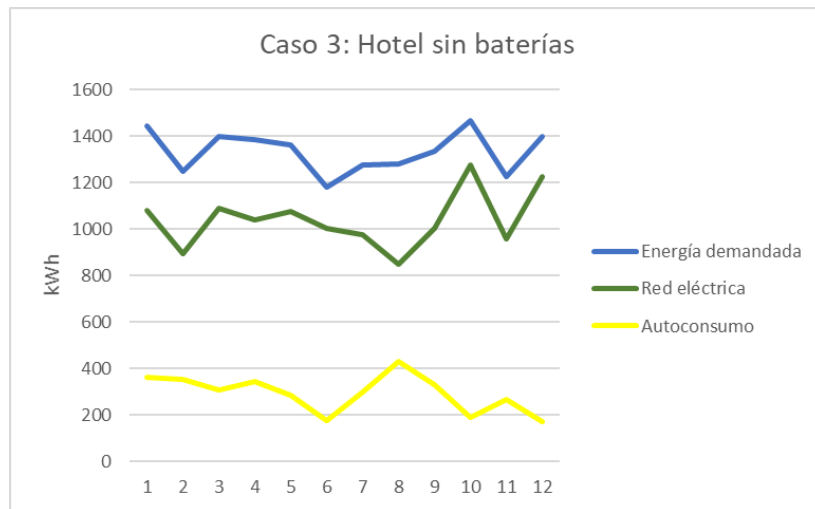


Figura 45. Procedencia de la energía sin baterías para el Caso 3.

La figura 45 muestra de donde procede la energía para cubrir la demanda asociada a la recarga de coches eléctricos en el Caso 3 (hotel), tal y como se puede observar, aquella energía demandada no cubierta por los paneles solares es suministrada por la red eléctrica.

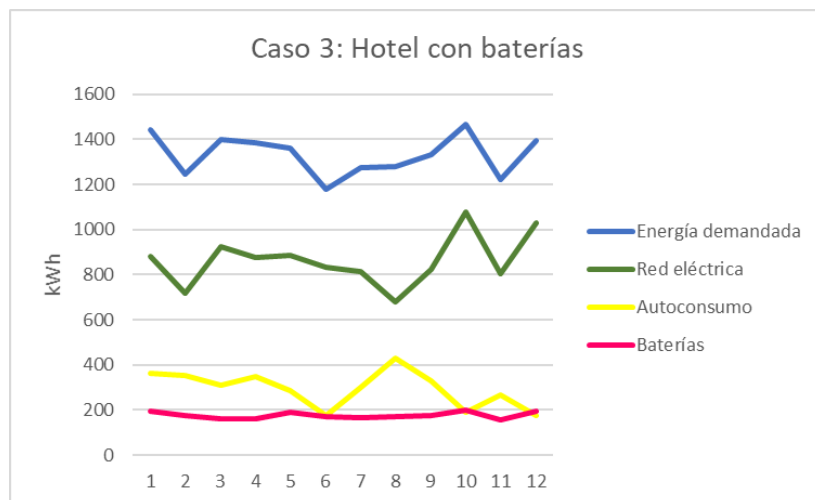


Figura 46. Procedencia de la energía con baterías para el Caso 3.

La figura 46 muestra de donde procede la energía para cubrir la demanda asociada a la recarga de coches eléctricos en el Caso 3 (hotel), tal y como se puede observar, aquella energía demanda no cubierta por los paneles solares, ni por las baterías es suministrada por la red eléctrica.

CASO 3		
	Sin baterías	Con baterías
Red eléctrica	77,95%	64,73%
Autoconsumo	22,05%	22,05%
Baterías		13,22%
	100,00%	100,00%

Tabla 35. Comparativa de la procedencia de la energía con y sin baterías para el Caso 3.

En las Tablas 33, 34 y 35 se observa lo mismo. En los tres casos de demanda los paneles siempre producen y aportan la misma energía, la diferencia reside en si hay baterías o no, de manera que en aquellas instalaciones donde no haya baterías, la demanda a la red eléctrica es superior y en aquellas donde hay baterías, la demanda es inferior.

3.8 Instalación aislada

En una instalación solar fotovoltaica aislada, es decir sin conexión a la red eléctrica, es necesario el uso de baterías. Esto se debe a que si momentáneamente la instalación solar fotovoltaica no genera electricidad, las baterías actuarán como fuente de respaldo.

Una instalación solar fotovoltaica siempre es importante que cuente, además de con los paneles solares fotovoltaicos, con otra fuente como puede ser la red eléctrica, las baterías o un grupo electrógeno.

Suposiciones:

	Ubicación	Tarifa
Caso 1	Cádiz A3	2.1 A
Caso 2	Cádiz A3	2.1 A
Caso 3	Cádiz A3	2.1 A

Tabla 36. Suposiciones para el cálculo de la rentabilidad de una planta solar fotovoltaica de un edificio sin conexión a red con baterías.

Objetivo:

El objetivo de este apartado es calcular que combinación (planta solar fotovoltaica + baterías) es la más rentable para los tres casos de demanda, en el caso de tratarse de instalaciones aisladas.

Caso 1: Centro comercial

Caso 1, Cadiz, Tarifa 2.1 A			
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización	% Cobertura
5,20 kWp	2,50 kW	15,69	15%
5,20 kWp	5,00 kW	13,56	22%
5,20 kWp	7,50 kW	12,82	27%
5,20 kWp	10,00 kW	12,47	32%
5,20 kWp	12,50 kW	12,31	36%
5,20 kWp	15,00 kW	12,29	41%
5,20 kWp	17,50 kW	12,37	45%
5,20 kWp	20,00 kW	12,51	48%
5,20 kWp	22,50 kW	12,69	52%
5,20 kWp	25,00 kW	12,92	55%
5,20 kWp	27,50 kW	13,21	58%
5,20 kWp	30,00 kW	13,55	60%
10,40 kWp	2,50 kW	23,84	18%
10,40 kWp	5,00 kW	20,08	24%
10,40 kWp	7,50 kW	18,11	30%
10,40 kWp	10,00 kW	16,87	35%
10,40 kWp	12,50 kW	16,08	40%
10,40 kWp	15,00 kW	15,58	44%
10,40 kWp	17,50 kW	15,25	49%
10,40 kWp	20,00 kW	15,04	53%
10,40 kWp	22,50 kW	14,91	57%
10,40 kWp	25,00 kW	14,86	60%
10,40 kWp	27,50 kW	14,89	64%
10,40 kWp	30,00 kW	14,95	67%
15,60 kWp	2,50 kW	32,20	19%
15,60 kWp	5,00 kW	26,66	25%
15,60 kWp	7,50 kW	23,64	31%
15,60 kWp	10,00 kW	21,65	36%
15,60 kWp	12,50 kW	20,30	41%
15,60 kWp	15,00 kW	19,37	45%
15,60 kWp	17,50 kW	18,71	50%
15,60 kWp	20,00 kW	18,21	54%
15,60 kWp	22,50 kW	17,85	58%
15,60 kWp	25,00 kW	17,61	62%
15,60 kWp	27,50 kW	17,48	65%
15,60 kWp	30,00 kW	17,37	69%

Tabla 37. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica aislada para el Caso 1.

En la tabla 37 es posible observar como cambian los años de amortización y el % de cobertura de la planta en función del número de paneles y baterías.

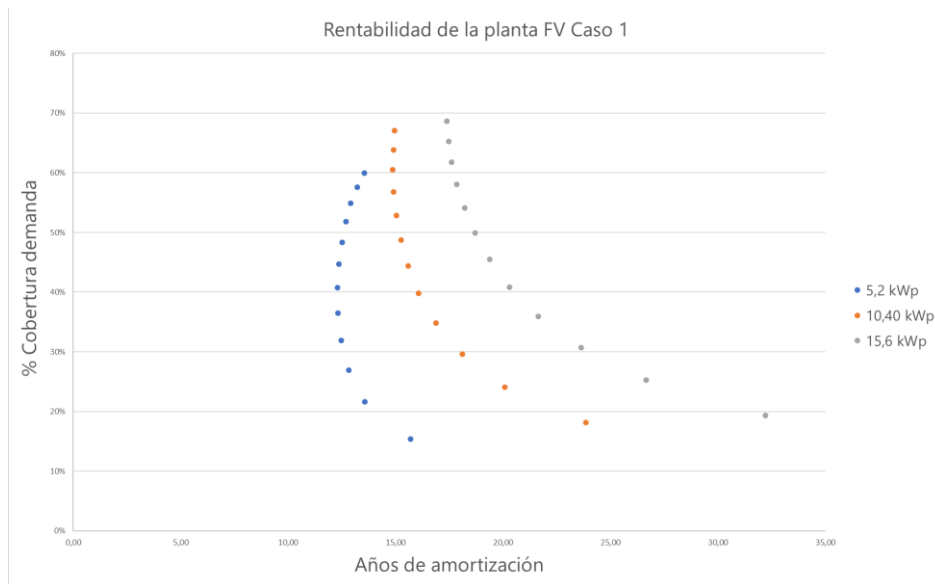


Figura 47. Relación entre los años de amortización y el % cobertura para el Caso 1 aislado.

En la figura 47 se muestra como varían los años de amortización para plantas solares fotovoltaicas de diferentes tamaños. El porcentaje de cobertura de la demanda eléctrica aumenta con el número de baterías y al tratarse de una demanda pequeña, la instalación que mejor se amortiza es la más pequeña también, es decir, la de 5,2 kWp.

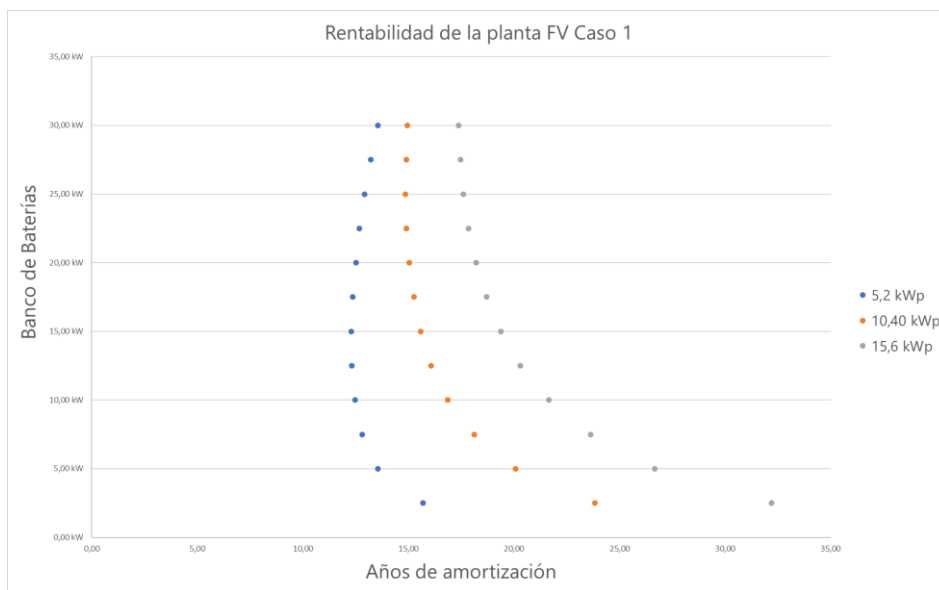


Figura 48. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 1 aislado.

En la figura 48 se observa que conforme aumenta el número de baterías (o lo que es lo mismo, el % cobertura de la demanda), inicialmente los años de amortización disminuyen, ya que puede aprovecharse en mayor medida la energía producida por los paneles a lo largo del día mediante su almacenamiento en las baterías. Sin embargo, si aumentamos en exceso el número de baterías y con ello el % de cobertura de la demanda, los años de amortización vuelven a subir, esto es debido al alto coste de las baterías.

Por lo tanto, para aprovechar al máximo la instalación solar fotovoltaica aislada, lo mejor es buscar aquella combinación de paneles y baterías que permita amortizar antes la instalación, es decir, hay que buscar el punto de inflexión a partir del cual, al aumentar el número de baterías aumenten los años de amortización, en vez de disminuir.

Para el caso 1, tal y como puede observarse en la figura 48, el número de paneles más conveniente es de 16 paneles de 325 Wp, es decir, una instalación de 5,2 kWp. Además, con una instalación de este tamaño, el número de baterías que favorece la amortización de la instalación son 6 baterías ByD de 2,5kW cada una, es decir, 15kW de almacenamiento.

Con esta combinación (5,2 kWp y 15 kW de almacenamiento) el % de cobertura de la demanda es de un 41% y se amortiza en 12,29 años. Esto quiere decir que solo será posible cargar durante el año el 41% de todo lo necesario para cargar los coches eléctricos. Para cargar todos los coches al 100% en una instalación aislada es necesaria una elevada inversión inicial, difícilmente amortizable a lo largo de los años. Por esta razón, la única opción viable para cubrir el 100% de la demanda sería una instalación solar fotovoltaica conectada a la red.

Caso 2: Oficinas

Caso 2, Cadiz, Tarifa 2.1 A			
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización	% Cobertura
5,20 kWp	2,50 kW	11,15	9%
5,20 kWp	5,00 kW	10,30	11%
5,20 kWp	7,50 kW	10,10	14%
5,20 kWp	10,00 kW	10,15	15%
5,20 kWp	12,50 kW	10,24	17%
5,20 kWp	15,00 kW	10,35	19%
5,20 kWp	17,50 kW	10,40	21%
5,20 kWp	20,00 kW	10,52	23%
5,20 kWp	22,50 kW	10,65	24%
5,20 kWp	25,00 kW	10,79	26%
5,20 kWp	27,50 kW	10,96	27%
5,20 kWp	30,00 kW	11,21	29%
5,20 kWp	32,50 kW	11,41	30%
5,20 kWp	35,00 kW	11,72	31%
5,20 kWp	37,50 kW	12,09	32%
5,20 kWp	40,00 kW	12,52	32%
10,40 kWp	2,50 kW	13,54	13%
10,40 kWp	5,00 kW	12,26	16%
10,40 kWp	7,50 kW	11,53	18%
10,40 kWp	10,00 kW	11,08	21%
10,40 kWp	12,50 kW	10,80	23%
10,40 kWp	15,00 kW	10,60	26%
10,40 kWp	17,50 kW	10,42	28%
10,40 kWp	20,00 kW	10,34	30%
10,40 kWp	22,50 kW	10,30	32%
10,40 kWp	25,00 kW	10,28	35%
10,40 kWp	27,50 kW	10,31	36%
10,40 kWp	30,00 kW	10,37	38%
10,40 kWp	32,50 kW	10,39	40%
10,40 kWp	35,00 kW	10,47	42%
10,40 kWp	37,50 kW	10,57	43%
10,40 kWp	40,00 kW	10,67	45%
15,60 kWp	2,50 kW	16,37	15%
15,60 kWp	5,00 kW	15,01	18%
15,60 kWp	7,50 kW	14,09	20%
15,60 kWp	10,00 kW	13,41	23%
15,60 kWp	12,50 kW	12,87	25%
15,60 kWp	15,00 kW	12,44	28%
15,60 kWp	17,50 kW	12,05	31%
15,60 kWp	20,00 kW	11,77	33%
15,60 kWp	22,50 kW	11,53	36%
15,60 kWp	25,00 kW	11,34	38%
15,60 kWp	27,50 kW	11,19	40%
15,60 kWp	30,00 kW	11,09	42%
15,60 kWp	32,50 kW	10,95	45%
15,60 kWp	35,00 kW	10,88	47%
15,60 kWp	37,50 kW	10,85	49%
15,60 kWp	40,00 kW	10,84	51%
15,60 kWp	42,50 kW	10,93	52%
15,60 kWp	45,00 kW	10,90	54%
15,60 kWp	47,50 kW	10,96	56%
15,60 kWp	50,00 kW	11,03	58%

Tabla 38. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica aislada para el Caso 2.

En la tabla 38 es posible observar como cambian los años de amortización y el % de cobertura de la planta en función del número de paneles y baterías.

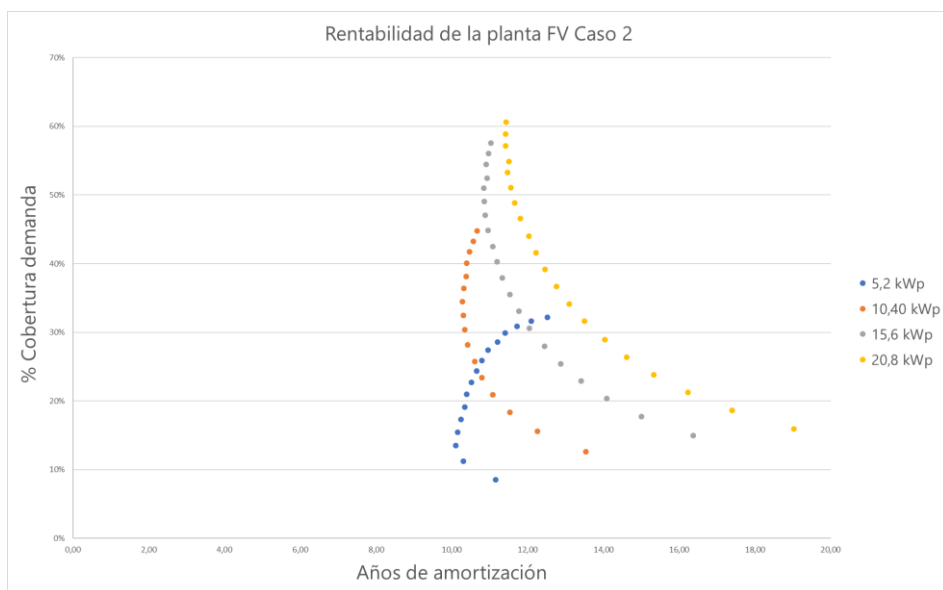


Figura 49. Relación entre los años de amortización y el % cobertura para el Caso 2 aislado.

En la figura 49 se muestra como varían los años de amortización para plantas solares fotovoltaicas de diferentes tamaños. El porcentaje de cobertura de la demanda eléctrica aumenta con el número de baterías y al tratarse de una demanda pequeña, la instalación que mejor se amortiza es la más pequeña también, es decir, la de 5,2 kWp.

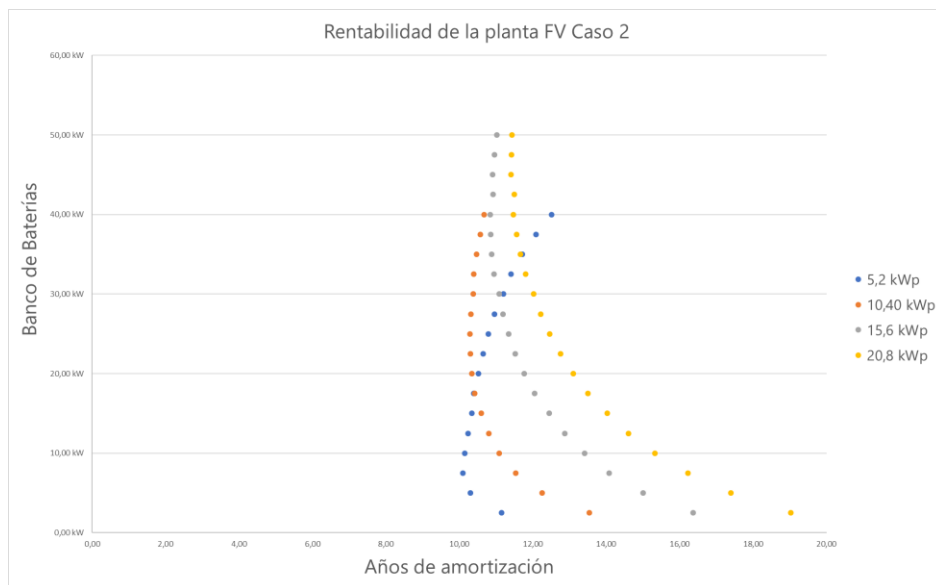


Figura 50. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 2 aislado.

Tal y como puede observarse en la figura 50, para el caso 2 existen varias combinaciones de números de paneles y baterías con similar año de amortización. Por ejemplo, en el caso de una instalación de 5,2 kWp y 7,5 kW de almacenamiento, la instalación se amortiza en 10,1 años, sin embargo esta opción solo cubre el 14% de la demanda.

Existen otras opciones con mayor % de cobertura de demanda como son:

-10,44 kWp y 25 kW de almacenamiento con un porcentaje de cobertura del 35 % y 10,28 años de amortización

-15,6 kWp y 40 kW de almacenamiento con un porcentaje de cobertura del 51 % y 10,84 años de amortización.

-20,80 kWp y 45 kW de almacenamiento con un porcentaje de cobertura del 57 % y 11,41 años de amortización.

¿Cual será la opción más adecuada? Pues dependerá de otros factores, como el presupuesto o el espacio disponible.

Al igual que en caso 1, en el caso 2 sería necesaria una elevada inversión inicial para conseguir un 100% de cobertura de la demanda, esto añadido al alto número de años necesarios para amortizar la planta hace de esta opción algo económicamente inviable. Por estas razones, para alcanzar el 100% de la cobertura de la demanda, es recomendable una instalación solar fotovoltaica conectada a la red.

Caso 3: Hotel

Caso 3, Cadiz, Tarifa 2.1 A			
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización	% Cobertura
5,20 kWp	2,50 kW	11,04	18%
5,20 kWp	5,00 kW	10,35	24%
5,20 kWp	7,50 kW	10,16	28%
5,20 kWp	10,00 kW	10,17	33%
5,20 kWp	12,50 kW	10,26	36%
5,20 kWp	15,00 kW	10,40	40%
5,20 kWp	17,50 kW	10,56	44%
5,20 kWp	20,00 kW	10,75	47%
5,20 kWp	22,50 kW	10,93	50%
5,20 kWp	25,00 kW	11,11	53%
5,20 kWp	27,50 kW	11,33	56%
5,20 kWp	30,00 kW	11,63	58%
5,20 kWp	32,50 kW	11,91	60%
5,20 kWp	35,00 kW	12,31	62%
5,20 kWp	37,50 kW	12,74	63%
5,20 kWp	40,00 kW	13,19	64%
10,40 kWp	2,50 kW	14,80	24%
10,40 kWp	5,00 kW	13,60	30%
10,40 kWp	7,50 kW	12,81	35%
10,40 kWp	10,00 kW	12,25	40%
10,40 kWp	12,50 kW	11,87	45%
10,40 kWp	15,00 kW	11,65	49%
10,40 kWp	17,50 kW	11,55	54%
10,40 kWp	20,00 kW	11,54	57%
10,40 kWp	22,50 kW	11,56	61%
10,40 kWp	25,00 kW	11,58	65%
10,40 kWp	27,50 kW	11,65	68%
10,40 kWp	30,00 kW	11,76	71%
10,40 kWp	32,50 kW	11,86	74%
10,40 kWp	35,00 kW	12,04	76%
10,40 kWp	37,50 kW	12,23	79%
10,40 kWp	40,00 kW	12,42	81%
15,60 kWp	2,50 kW	19,59	26%
15,60 kWp	5,00 kW	17,69	32%
15,60 kWp	7,50 kW	16,39	37%
15,60 kWp	10,00 kW	15,41	42%
15,60 kWp	12,50 kW	14,69	47%
15,60 kWp	15,00 kW	14,19	52%
15,60 kWp	17,50 kW	13,88	56%
15,60 kWp	20,00 kW	13,70	60%
15,60 kWp	22,50 kW	13,58	63%
15,60 kWp	25,00 kW	13,49	67%
15,60 kWp	27,50 kW	13,46	70%
15,60 kWp	30,00 kW	13,49	74%
15,60 kWp	32,50 kW	13,50	77%
15,60 kWp	35,00 kW	13,61	79%
15,60 kWp	37,50 kW	13,73	82%
15,60 kWp	40,00 kW	13,86	84%

Tabla 39. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica aislada para el Caso 3.

En la tabla 39 es posible observar como cambian los años de amortización y el % de cobertura de la planta en función del número de paneles y baterías.

El porcentaje de cobertura de la demanda eléctrica siempre aumenta con el número de baterías, ya que a mayor número de baterías más energía habrá almacenada para su posterior uso.

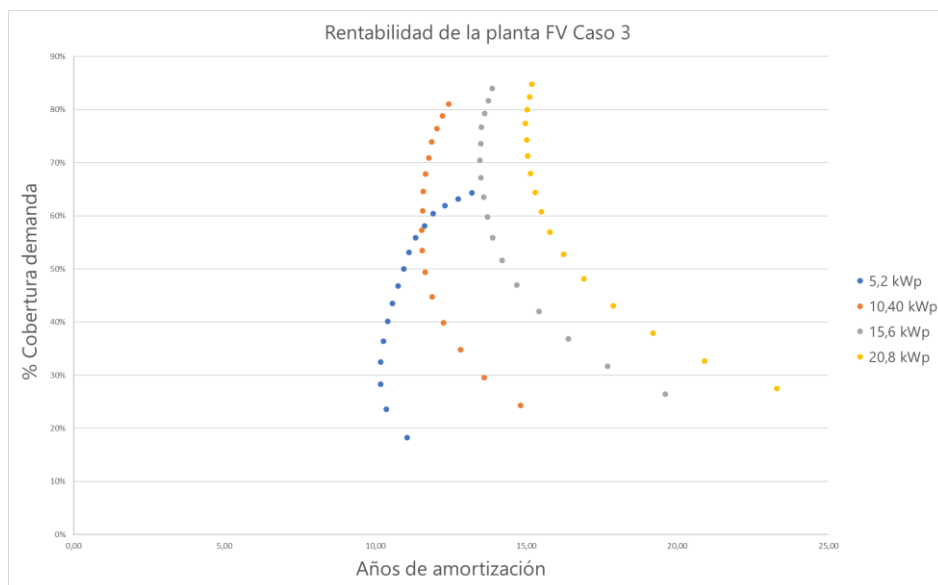


Figura 51. Relación entre los años de amortización y el % cobertura para el Caso 3 aislado.

En la figura 51 se muestra como varían los años de amortización para plantas solares fotovoltaicas de diferentes tamaños. El porcentaje de cobertura de la demanda eléctrica aumenta con el número de baterías y al tratarse de una demanda pequeña, la instalación que mejor se amortiza es la más pequeña también, es decir, la de 5,2 kWp.

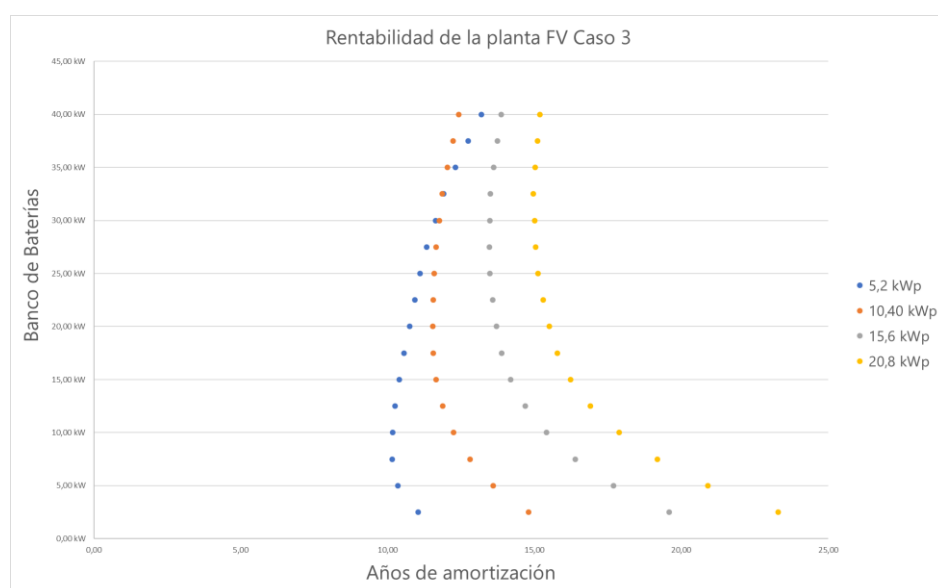


Figura 52. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 3 aislado.

Según puede observarse en la figura 52, en el caso 3 la combinación de números de paneles y baterías que antes se amortiza (10,16 años) son 5,2 kWp y 7,5 kW de almacenamiento, sin embargo esta combinación solo cubre el 28% de la demanda. Por otro lado, 10,40 kWp y 20 kW de almacenamiento cubre el 57% de la demanda y se amortiza en 11,54 años.

Para porcentajes de cobertura superiores es necesaria una inversión inicial bastante mas elevada y además difícil de amortizar. Por lo tanto, para porcentajes de cobertura superiores, al igual que en los dos casos anteriores, se recomienda una instalación conectada a la red eléctrica.

3.9 Amortización de la instalación conectada a la red

En una instalación solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica no es necesario el uso de baterías, ya que la red eléctrica en el caso de que los paneles o las baterías no aporten energía, puede actuar como fuente de respaldo.

Por lo tanto, a partir de ahora no solo entran en juego los paneles y las baterías, sino también la red eléctrica. Con este nuevo esquema de generación el ahorro será diferente:

- Ahorro en Energía Variable:

Con la nueva instalación solar fotovoltaica la demanda de energía a la red eléctrica disminuye. El ahorro en energía variable es el ahorro producido al disminuir la demanda de energía a la red eléctrica.

El ahorro en energía variable depende del precio €/kWh que actualmente el consumidor pague en su factura eléctrica.

- Ahorro en Potencias y Recargos (no contemplado en el estudio):

Con el CUPS (Código Universal de Punto de Suministro) que figura en la factura eléctrica, es posible acceder a los datos actualizados de consumo eléctrico del usuario, a través de la SIPS (Base de datos de Consumidores y Puntos de Suministro).

En el momento en el que el consumidor supera la potencia contratada, el exceso de potencia se penaliza con un recargo en la factura eléctrica.

Con la instalación solar propuesta habrá una planta generadora renovable. Por lo tanto, cualquier aumento de demanda será satisfecha. Además, es posible disminuir la potencia contratada actual, lo cual aumenta el ahorro.

- Ahorro en Autoconsumo con Excedentes:

La energía producida por los paneles y no consumida por será compensada, es decir, aquella fracción de energía vertida a la red se cobrará a un cierto precio que depende del precio de PULL en esa hora y de las ofertas que saque la comercializadora. El coste se restará de la factura eléctrica.

Con toda esta información, es posible saber cuanto tarda en amortizarse cada planta para cada caso de demanda: Centro comercial, oficinas y hotel.

Suposiciones:

	Ubicación	Tarifa
Caso 1	Cádiz A3	2.1 A
Caso 2	Cádiz A3	2.1 A
Caso 3	Cádiz A3	2.1 A

Tabla 40. Suposiciones para el cálculo de la rentabilidad de una planta solar fotovoltaica de un edificio con conexión a red con baterías.

Objetivo:

El objetivo de este apartado es calcular que combinación (planta solar fotovoltaica + baterías) es la más rentable para los tres casos de demanda, en el caso de tratarse de instalaciones conectadas a la red eléctrica.

Caso 1: Centro comercial

Caso 1. Cadiz, Tarifa 2.1 A		
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización
5,20 kWp	0,00 kW	5,98
5,20 kWp	2,50 kWp	6,52
5,20 kWp	5,00 kWp	6,81
5,20 kWp	7,50 kWp	7,06
5,20 kWp	10,00 kWp	7,17
5,20 kWp	12,50 kWp	7,25
5,20 kWp	15,00 kW	7,38
5,20 kWp	17,50 kW	7,66
5,20 kWp	20,00 kW	8,03
5,20 kWp	22,50 kW	7,52
5,20 kWp	25,00 kW	7,77
5,20 kWp	27,50 kW	7,95
5,20 kWp	30,00 kW	8,22
10,40 kWp	0,00 kW	6,32
10,40 kWp	2,50 kW	6,65
10,40 kWp	5,00 kW	6,85
10,40 kWp	7,50 kW	7,04
10,40 kWp	10,00 kW	7,14
10,40 kWp	12,50 kW	7,22
10,40 kWp	15,00 kW	7,33
10,40 kWp	17,50 kW	7,55
10,40 kWp	20,00 kW	7,84
10,40 kWp	22,50 kW	7,49
10,40 kWp	25,00 kW	7,71
10,40 kWp	27,50 kW	7,87
10,40 kWp	30,00 kW	8,11
15,60 kWp	0,00 kW	6,54
15,60 kWp	2,50 kW	6,78
15,60 kWp	5,00 kW	6,92
15,60 kWp	7,50 kW	7,06
15,60 kWp	10,00 kW	7,14
15,60 kWp	12,50 kW	7,21
15,60 kWp	15,00 kW	7,29
15,60 kWp	17,50 kW	7,47
15,60 kWp	20,00 kW	7,71
15,60 kWp	22,50 kW	7,44
15,60 kWp	25,00 kW	7,62
15,60 kWp	27,50 kW	7,77
15,60 kWp	30,00 kW	7,97

Tabla 41. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica para el Caso 1.

En la tabla 41 es posible observar como cambian los años de amortización y el % de cobertura de la planta en función del número de paneles y baterías.

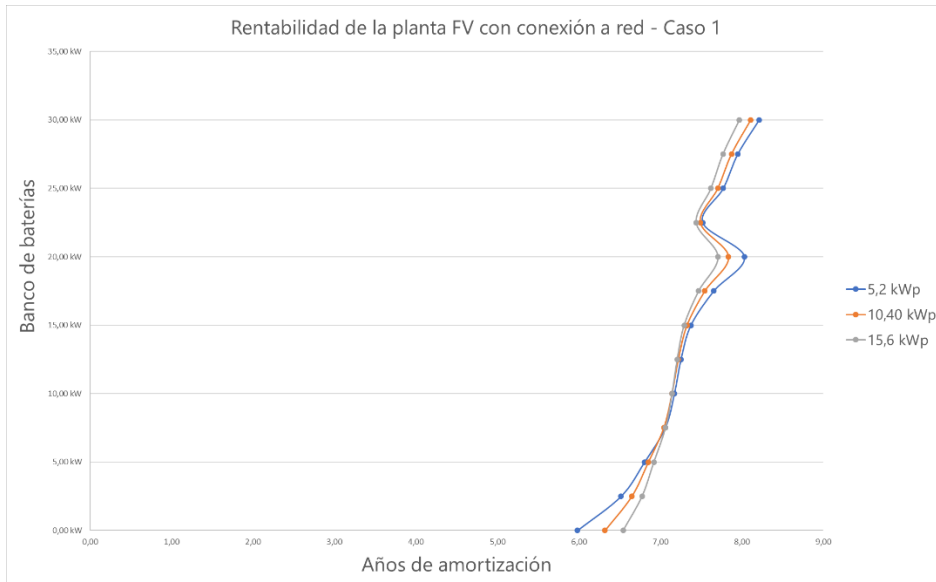


Figura 53. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 1 conectado a la red eléctrica.

En la figura 53 se observa que la combinación de paneles y baterías más favorable (con menor número de años de amortización) es la siguiente: Instalación solar fotovoltaica de 5,2 kWp y sin acumulación. Esta

planta renovable se estima que sería amortizada en 5,98 años aproximadamente.

El hecho de que la planta solar fotovoltaica más rentable sea aquella que no lleva baterías, es debido a que las horas de mayor demanda coinciden con las horas de mayor producción solar fotovoltaica, y por lo tanto, para aprovechar la energía solar de los paneles no es necesario hacer uso de baterías.

Caso 2: Oficinas

Caso 2, Cadiz, Tarifa 2.1 A		
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización
5,20 kWp	0,00 kW	5,35
5,20 kWp	2,50 kW	5,95
5,20 kWp	5,00 kW	6,53
5,20 kWp	7,50 kW	7,11
5,20 kWp	10,00 kW	7,70
5,20 kWp	12,50 kW	7,50
5,20 kWp	15,00 kW	6,48
5,20 kWp	17,50 kW	6,58
5,20 kWp	20,00 kW	6,15
5,20 kWp	22,50 kW	5,99
5,20 kWp	25,00 kW	5,41
5,20 kWp	27,50 kW	4,77
5,20 kWp	30,00 kW	4,24
5,20 kWp	32,50 kW	4,39
5,20 kWp	35,00 kW	4,53
5,20 kWp	37,50 kW	4,68
5,20 kWp	40,00 kW	4,83
10,40 kWp	0,00 kW	5,57
10,40 kWp	2,50 kW	5,87
10,40 kWp	5,00 kW	6,17
10,40 kWp	7,50 kW	6,46
10,40 kWp	10,00 kW	6,75
10,40 kWp	12,50 kW	6,64
10,40 kWp	15,00 kW	6,03
10,40 kWp	17,50 kW	6,09
10,40 kWp	20,00 kW	5,80
10,40 kWp	22,50 kW	5,69
10,40 kWp	25,00 kW	5,27
10,40 kWp	27,50 kW	4,77
10,40 kWp	30,00 kW	4,33
10,40 kWp	32,50 kW	4,45
10,40 kWp	35,00 kW	4,58
10,40 kWp	37,50 kW	4,71
10,40 kWp	40,00 kW	4,85
15,60 kWp	0,00 kW	5,76
15,60 kWp	2,50 kW	5,99
15,60 kWp	5,00 kW	6,23
15,60 kWp	7,50 kW	6,46
15,60 kWp	10,00 kW	6,68
15,60 kWp	12,50 kW	6,59
15,60 kWp	15,00 kW	6,10
15,60 kWp	17,50 kW	6,13
15,60 kWp	20,00 kW	5,88
15,60 kWp	22,50 kW	5,77
15,60 kWp	25,00 kW	5,39
15,60 kWp	27,50 kW	4,94
15,60 kWp	30,00 kW	4,53
15,60 kWp	32,50 kW	4,64
15,60 kWp	35,00 kW	4,76
15,60 kWp	37,50 kW	4,88
15,60 kWp	40,00 kW	5,01
15,60 kWp	42,50 kW	5,14
15,60 kWp	45,00 kW	5,28
15,60 kWp	47,50 kW	5,42
15,60 kWp	50,00 kW	5,57

Tabla 42. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica para el Caso 2.

En la tabla 42 es posible observar como cambian los años de amortización y el % de cobertura de la planta en función del número de paneles y baterías.

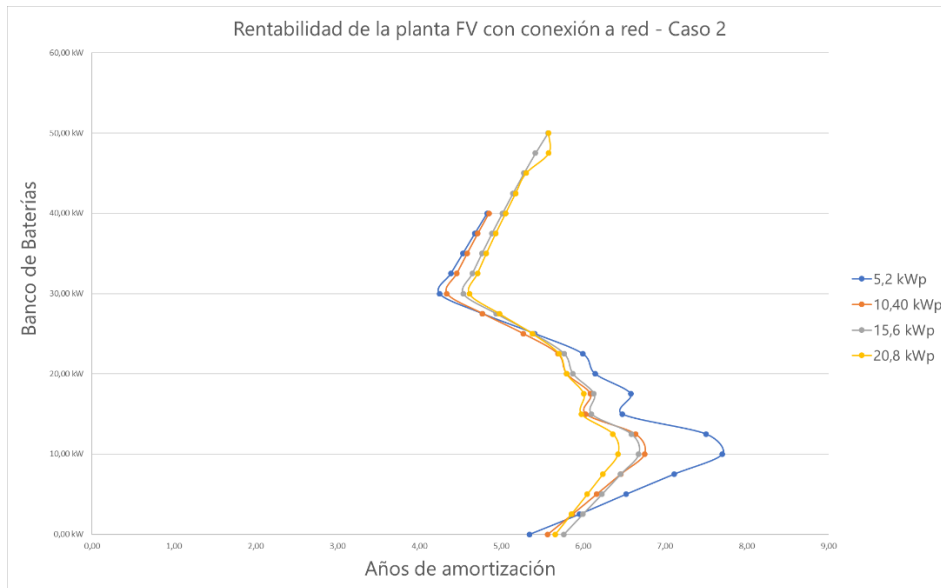


Figura 54. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 2 conectado a la red eléctrica.

En la figura 54 se observa que para el caso 2, la combinación de paneles y baterías más favorable es la siguiente: Instalación solar fotovoltaica de 5,2 kWp y 30 kW de acumulación. Esta planta renovable se estima que sería amortizada en 4,24 años aproximadamente. Tal y como se aprecia en la gráfica, para un mismo número de paneles (5,2 kWp que son 16 paneles de 325 Wp) existe un gran diferencia entre los años de amortización de la planta con 10 kW de acumulación y con 30 kW de acumulación. Este cambio brusco en la tendencia de la curva se debe a que las horas de demanda no coinciden con las horas de mayor producción solar fotovoltaica (al contrario de lo que ocurre en el caso 1) y con 30 kW de acumulación es posible recoger toda esa energía generada por los paneles y no autoconsumida para su posterior uso.

Caso 3: Hotel

Caso 3, Cadiz, Tarifa 2.1 A		
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización
5,20 kWp	0,00 kW	5,30
5,20 kWp	2,50 kW	5,78
5,20 kWp	5,00 kW	5,85
5,20 kWp	7,50 kW	5,66
5,20 kWp	10,00 kW	5,82
5,20 kWp	12,50 kW	5,14
5,20 kWp	15,00 kW	5,39
5,20 kWp	17,50 kW	5,69
5,20 kWp	20,00 kW	6,00
5,20 kWp	22,50 kW	6,30
5,20 kWp	25,00 kW	6,58
5,20 kWp	27,50 kW	6,88
5,20 kWp	30,00 kW	7,18
5,20 kWp	32,50 kW	7,50
5,20 kWp	35,00 kW	7,82
5,20 kWp	37,50 kW	8,14
5,20 kWp	40,00 kW	8,45
10,40 kWp	0,00 kW	5,65
10,40 kWp	2,50 kW	5,95
10,40 kWp	5,00 kW	6,07
10,40 kWp	7,50 kW	5,96
10,40 kWp	10,00 kW	6,07
10,40 kWp	12,50 kW	5,54
10,40 kWp	15,00 kW	5,75
10,40 kWp	17,50 kW	5,99
10,40 kWp	20,00 kW	6,27
10,40 kWp	22,50 kW	6,54
10,40 kWp	25,00 kW	6,80
10,40 kWp	27,50 kW	7,07
10,40 kWp	30,00 kW	7,35
10,40 kWp	32,50 kW	7,64
10,40 kWp	35,00 kW	7,94
10,40 kWp	37,50 kW	8,24
10,40 kWp	40,00 kW	8,54
15,60 kWp	0,00 kW	5,99
15,60 kWp	2,50 kW	6,21
15,60 kWp	5,00 kW	6,29
15,60 kWp	7,50 kW	6,20
15,60 kWp	10,00 kW	6,28
15,60 kWp	12,50 kW	5,83
15,60 kWp	15,00 kW	6,00
15,60 kWp	17,50 kW	6,20
15,60 kWp	20,00 kW	6,43
15,60 kWp	22,50 kW	6,66
15,60 kWp	25,00 kW	6,88
15,60 kWp	27,50 kW	7,12
15,60 kWp	30,00 kW	7,36
15,60 kWp	32,50 kW	7,61
15,60 kWp	35,00 kW	7,87
15,60 kWp	37,50 kW	8,13
15,60 kWp	40,00 kW	8,39

Tabla 43. Rentabilidad de una planta solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica para el Caso 3.

En la tabla 43 es posible observar como cambian los años de amortización y el % de cobertura de la planta en función del número de paneles y baterías.

El porcentaje de cobertura de la demanda eléctrica siempre aumenta con el número de baterías, ya que a mayor número de baterías más energía habrá almacenada para su posterior uso.

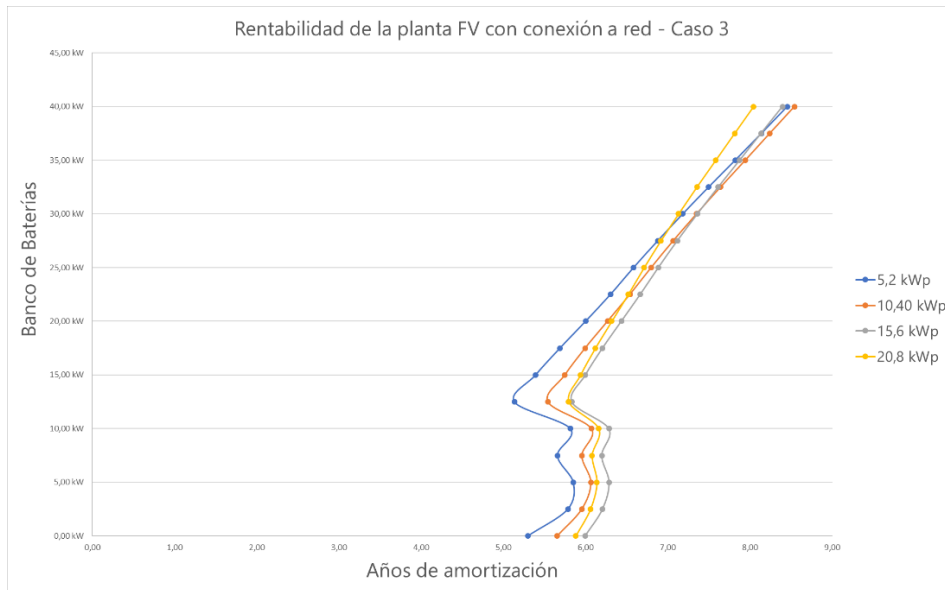


Figura 55. Relación entre los años de amortización y el tamaño del banco de baterías para el Caso 3 conectado a la red eléctrica.

Para el caso 3 la combinación de paneles y baterías más favorable es la siguiente: Instalación solar fotovoltaica de 5,2 kWp y 12,5 kW de acumulación. Esta planta renovable se estima que sería amortizada en 5,14 años aproximadamente.

En los tres casos es posible observar una tendencia similar, una planta pequeña es fácil de amortizar, ya que la inversión inicial es inferior. Además, la venta de energía no da grandes beneficios, por lo que en ninguno de los tres casos es aconsejable entender las plantas como plantas dedicadas a la venta de energía. Si es cierto, que por muy pequeña que sea la planta fotovoltaica, parte de la energía no será en algún momento determinado ni autoconsumida ni guardada en baterías, por lo que nunca está de más un beneficio por esa energía volcada a la red, por muy pequeña que sea.

En la figura 55 es posible distinguir la misma tendencia que en el caso 2 (figura 54), ya que al igual que antes, para un mismo número de paneles (5,2 kWp que son 16 paneles de 325 Wp) existe un gran diferencia entre los años de amortización de la planta con 10 kW de acumulación y con 30 kW de acumulación. En este caso se puede observar como para una planta de 5,2 kWp la amortización cambia al pasar de 5 kW de acumulación a 12,5 kW, al igual que en el caso 2, esto es debido a que las horas de demanda no coinciden con las horas de mayor producción solar fotovoltaica (al contrario de lo que ocurre en el caso 1) y con 12,5 kW de acumulación es posible recoger toda esa energía generada por los paneles y no autoconsumida para su posterior uso.

Por otro lado, las baterías ayudan a aprovechar la energía producida por los paneles y disminuye la necesidad de estar conectados a la red eléctrica, sin embargo, su alto coste provoca que solo sean rentables plantas renovables con un banco de baterías pequeño, en el caso 3 la amortización sube notablemente a partir de los 12,5 kW de acumulación.

Finalmente, una vez estudiada que planta generadora es más adecuada para caso de demanda, es interesante observar como influyen el tamaño de la planta, la ubicación, el tipo de factura y el tamaño del banco de baterías en la amortización de esta.

3.9.1 Influencia del tamaño de la planta

Suposiciones:

	Ubicación	Tarifa	Tamaño Baterías
Caso 1	Cádiz A3	2.1 A	0,00 kW
Caso 2	Cádiz A3	2.1 A	30,00 kW
Caso 3	Cádiz A3	2.1 A	12,50 kW

Tabla 44. Suposiciones para el estudio de la influencia del tamaño de una planta solar fotovoltaica con conexión a red.

Objetivo:

El objetivo de este apartado es calcular que tamaño de planta solar (kWp) es la más rentable para los tres casos de demanda, en el caso de tratarse de instalaciones conectadas a la red eléctrica.

Caso 1:

Caso 1, Cadiz, Tarifa 2.1 A		
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización
5,20 kWp	0,00 kW	5,98
10,40 kWp	0,00 kW	6,32
15,60 kWp	0,00 kW	6,54
20,80 kWp	0,00 kW	6,31
26,00 kWp	0,00 kW	6,40
31,20 kWp	0,00 kW	6,47
36,40 kWp	0,00 kW	6,52
41,60 kWp	0,00 kW	6,17
46,80 kWp	0,00 kW	6,20
52,00 kWp	0,00 kW	6,22

Tabla 45. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 1.

En la tabla 45 se muestran los años de amortización de una planta solar fotovoltaica sin acumulación de distintos tamaños para el caso 1.

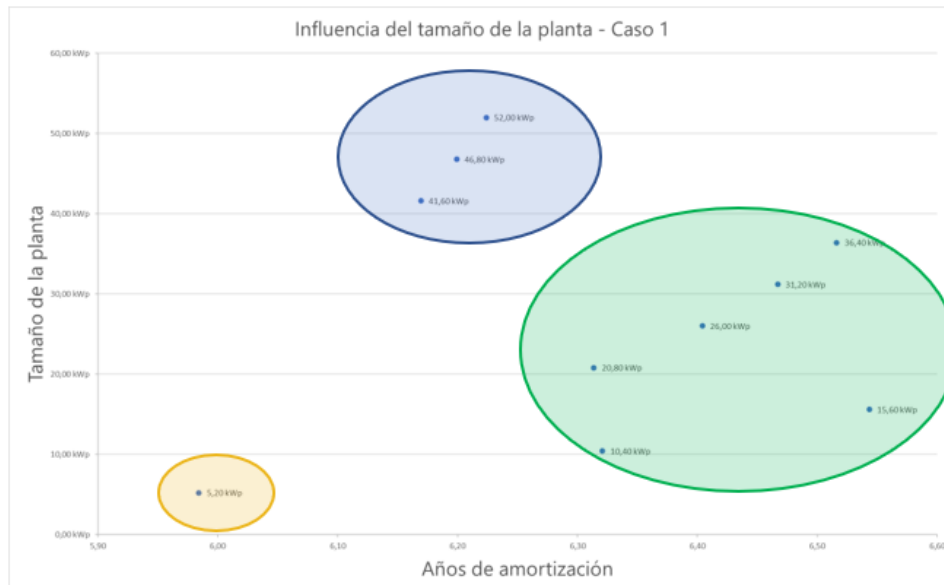


Figura 56. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 1.

En la figura 56 se pueden distinguir tres grupos de plantas solares, el primer grupo (plantas de pequeño tamaño) son plantas fáciles de amortizar, ya que la inversión inicial necesaria es muy pequeña. Por otro lado, el segundo grupo (plantas de tamaño medio), tienen años de amortización superiores al grupo

anterior, esto se debe a que la demanda del cliente es pequeña, y por lo tanto, gran parte de la energía producida es volcada a la red, y a pesar de que esto genere ingresos, no da beneficios.

En último lugar está el tercer grupo (plantas de gran tamaño), en este grupo ocurre lo mismo que en el grupo anterior, pero las amortizaciones son más bajas debido al precio €/Wp, el cual disminuye al aumentar el tamaño de la planta. A pesar de todo esto, la planta más pequeña (5,2 kWp) sigue siendo la más rentable.

Caso 2:

Caso 2, Cadiz, Tarifa 2.1 A		
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización
5,20 kWp	30,00 kW	4,24
10,40 kWp	30,00 kW	4,33
15,60 kWp	30,00 kW	4,53
20,80 kWp	30,00 kW	4,61
26,00 kWp	30,00 kW	4,78
31,20 kWp	30,00 kW	4,94
36,40 kWp	30,00 kW	5,07
41,60 kWp	30,00 kW	4,97
46,80 kWp	30,00 kW	5,06
52,00 kWp	30,00 kW	5,14

Tabla 46. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 2.

En la tabla 46 se muestran los años de amortización de una planta solar fotovoltaica con 30 kW de acumulación de distintos tamaños para el caso 2.

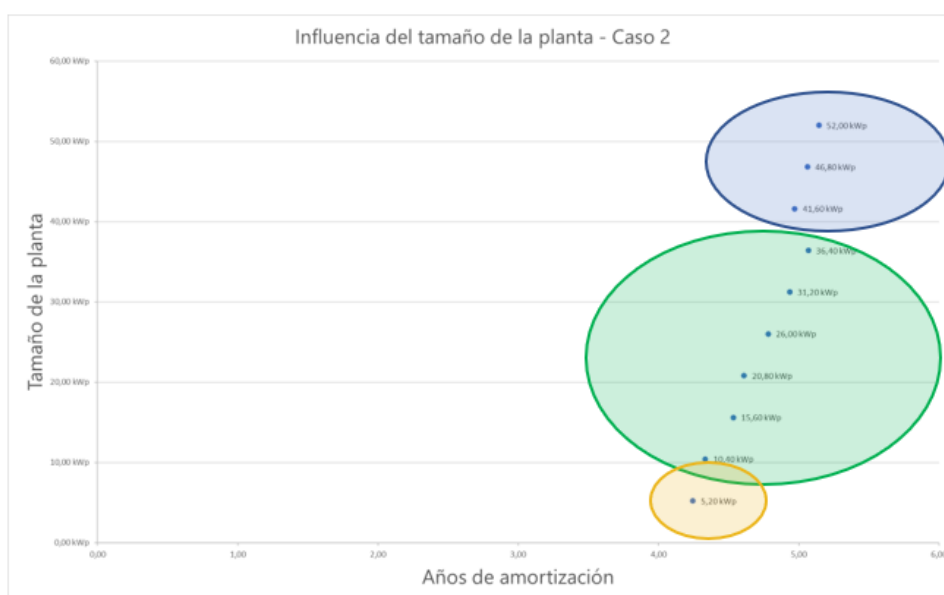


Figura 57. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 2.

En la figura 56 se pueden distinguir tres grupos de plantas solares al igual que en el caso 1. Además la tendencia es exactamente la misma que antes (es posible distinguir los tres grupos). La única diferencia que se puede apreciar es que los años de amortización de todas las plantas son más parecidos, es decir, los puntos de las gráficas se mueven en un rango más pequeño del eje X. Este fenómeno se debe a que al tratarse de 30 kW de acumulación (15.000 € aproximadamente de inversión), la inversión no depende tanto del precio de la planta como del precio de las baterías, y por esta razón los años de amortización no varían en gran medida.

Caso 3:

Caso 3, Cadiz, Tarifa 2.1 A		
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización
5,20 kWp	12,50 kW	5,14
10,40 kWp	12,50 kW	5,54
15,60 kWp	12,50 kW	5,83
20,80 kWp	12,50 kW	5,79
26,00 kWp	12,50 kW	5,93
31,20 kWp	12,50 kW	6,04
36,40 kWp	12,50 kW	6,13
41,60 kWp	12,50 kW	5,89
46,80 kWp	12,50 kW	5,94
52,00 kWp	12,50 kW	5,99

Tabla 47. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 3.

En la tabla 47 se muestran los años de amortización de una planta solar fotovoltaica con 12,5 kW de acumulación de distintos tamaños para el caso 3.

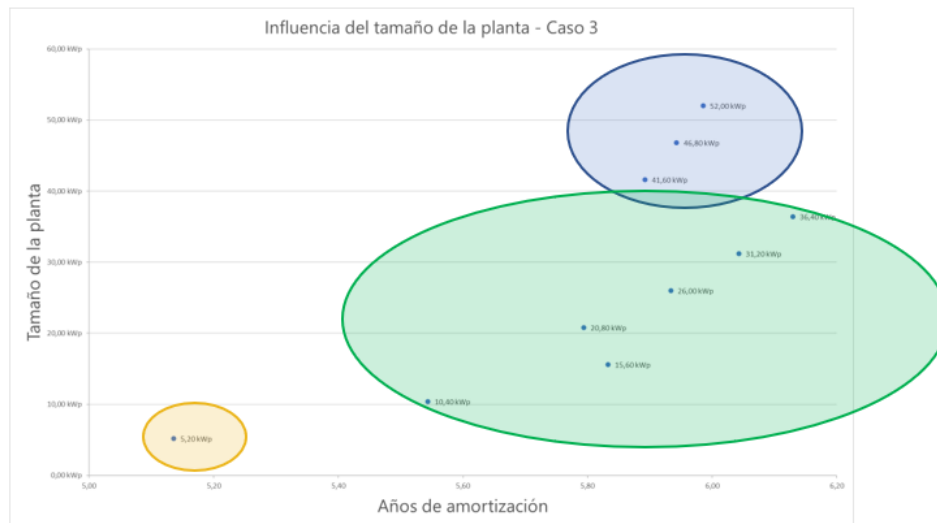


Figura 58. Influencia del tamaño de la planta para el Caso 3.

Una vez llegamos al caso 3 (figura 58), podemos concluir que en los tres casos se puede observar como los años de amortización son bajos para instalaciones pequeñas y luego suben gradualmente hasta llegar a instalaciones grandes donde la amortización vuelve a bajar debido al descenso del €/Wp. Pero al igual que en el caso dos se puede apreciar que los años de amortización de todas las plantas son mas parecidos que en caso 1. Este fenómeno, al igual que en el caso 2, se debe a que al tratarse de 12,5 kW de acumulación (6.000 € aproximadamente de inversión), ahora la inversión no depende tanto del precio de la planta, sino del precio de las baterías, y por esta razón los años de amortización no varían en gran medida.

3.9.2 Influencia de la ubicación

Suposiciones:

	Tamaño Planta FV	Tarifa	Tamaño Baterías
Caso 1	5,20 kWp	2.1 A	0,00 kW
Caso 2	5,20 kWp	2.1 A	30,00 kW
Caso 3	5,20 kWp	2.1 A	12,50 kW

Tabla 48. Suposiciones para el estudio de la influencia de la ubicación de una planta solar fotovoltaica con conexión a red.

Objetivo:

El objetivo de este apartado es calcular que ubicación es la más rentable para los tres casos de demanda, en el caso de tratarse de instalaciones conectadas a la red eléctrica.

Caso 1:

Caso 1, 5,2 kWp, 0 kW, Tarifa 2.1 A	
Ubicación	Años amortización
Cádiz	5,98
Almería	6,32
Sevilla	6,30
Granada	6,37
Badajoz	6,41
Valencia	6,70
Barcelona	6,92
Valladolid	7,04
Madrid	6,98
Burgos	7,40
Lugo	8,22
Oviedo	8,88

Tabla 49. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 1.

En la tabla 48 se muestran los años de amortización de una planta solar fotovoltaica sin acumulación en distintas ubicaciones para el caso 1.

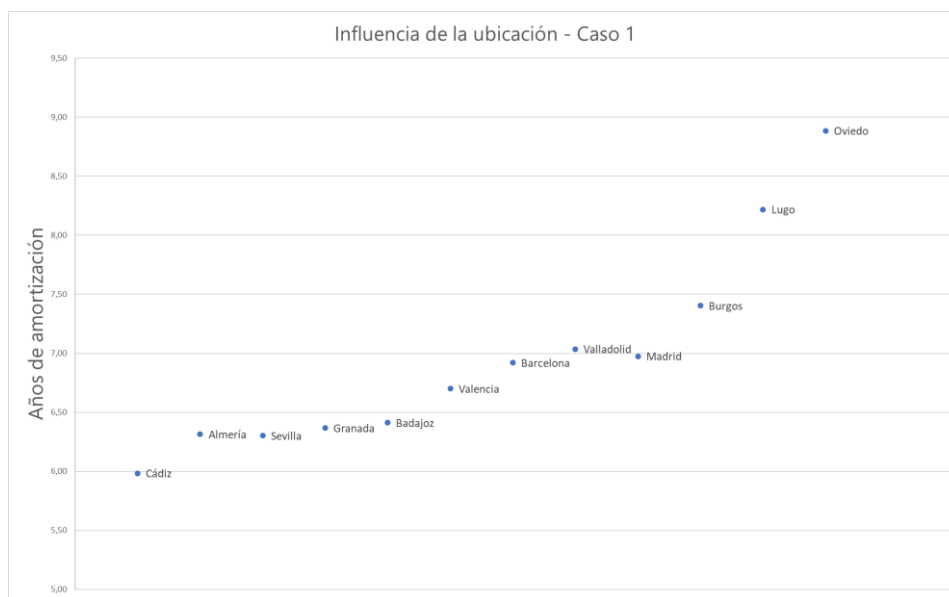


Figura 59. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 1.

En la figura 59 se deducen cuales son aquellas ciudades mejor ubicadas para la producción solar fotovoltaica.

Caso 2:

Caso 2, 5,2 kWp, 30 kW, Tarifa 2.1 A

Ubicación	Años amortización
Cádiz	4,24
Almería	4,29
Sevilla	4,28
Granada	4,31
Badajoz	4,29
Valencia	4,35
Barcelona	4,39
Valladolid	4,42
Madrid	4,41
Burgos	4,46
Lugo	4,58
Oviedo	4,65

Tabla 50. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 2.

En la tabla 49 se muestran los años de amortización de una planta solar fotovoltaica con 30 kW de acumulación en distintas ubicaciones para el caso 2.

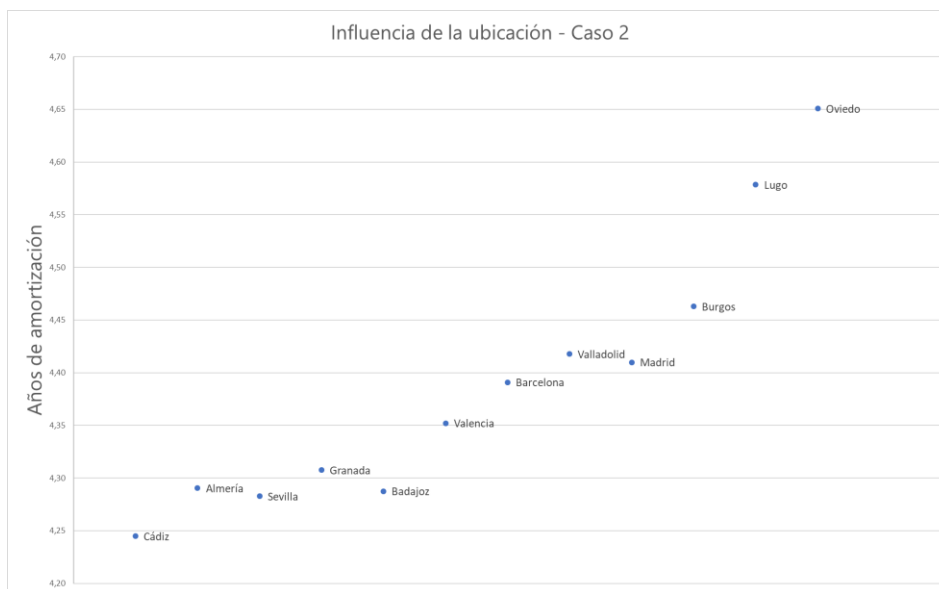


Figura 60. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 2.

En la figura 60 se observa que las ciudades con mayor producción solar fotovoltaica son las mismas que en el caso 1.

Caso 3:

Caso 3, 5,2 kWp, 12,5 kW, Tarifa 2.1 A

Ubicación	Años amortización
Cádiz	5,14
Almería	5,24
Sevilla	5,22
Granada	5,27
Badajoz	5,27
Valencia	5,36
Barcelona	5,44
Valladolid	5,48
Madrid	5,46
Burgos	5,60
Lugo	5,85
Oviedo	5,97

Tabla 51. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 3.

En la tabla 50 se muestran los años de amortización de una planta solar fotovoltaica con 12,5 kW de acumulación en distintas ubicaciones para el caso 3.

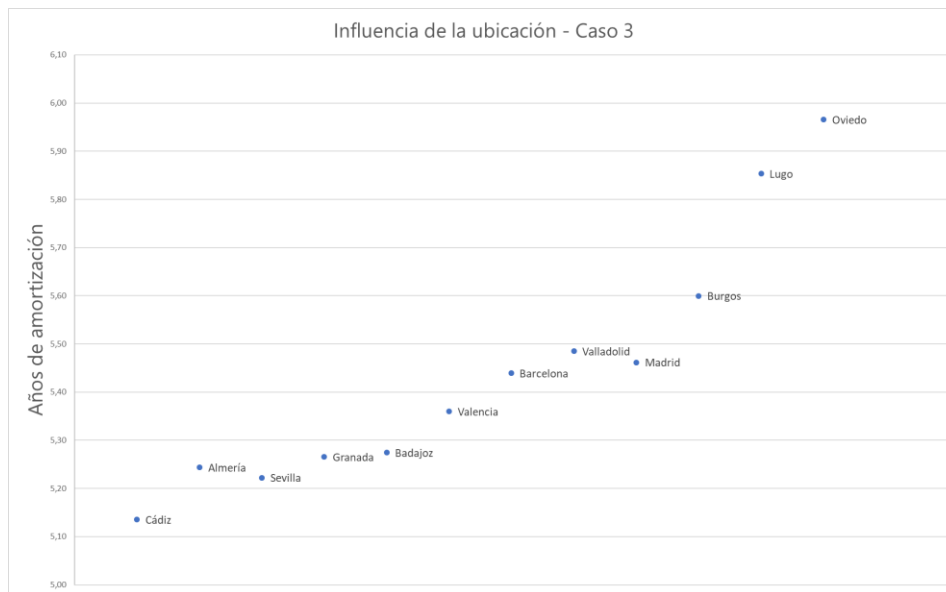


Figura 61. Influencia de la ubicación de la planta para el Caso 3.

En la figura 61 se vuelve a observar lo mismo que en los casos anteriores, ya que los años de amortización están directamente relacionados con la radiación solar incidente en cada zona climática, la cual depende únicamente de la latitud y de la longitud de la zona. A mayor radiación solar, mayor producción solar fotovoltaica y menor es el número de años de amortización de la planta renovable.

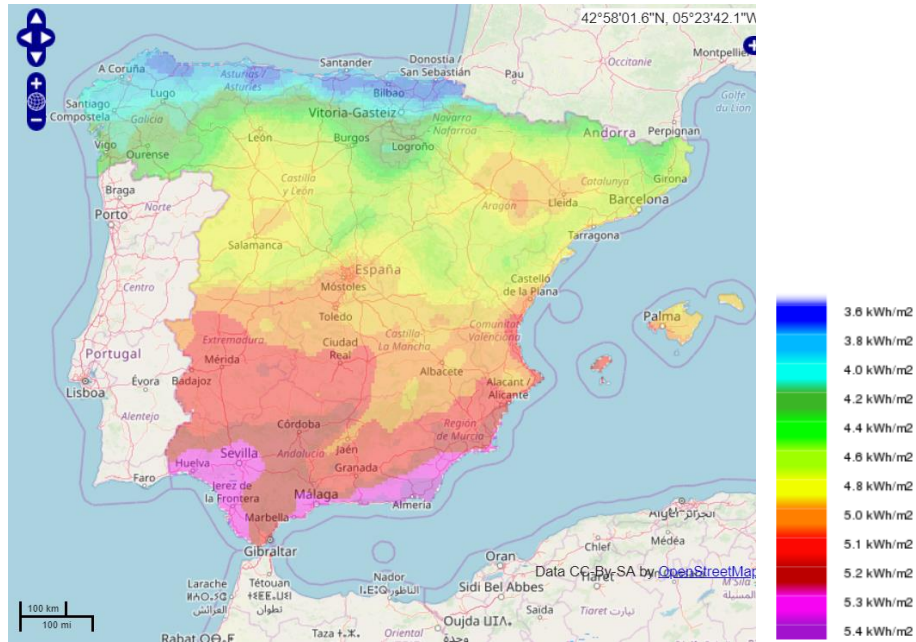


Figura 62. Radiación solar en España. Fuente: ADRESE.

3.9.3 Influencia del tipo de factura

Suposiciones:

	Tamaño Planta FV	Ubicación	Tamaño Baterías
Caso 1	5,20 kWp	Cádiz A3	0,00 kW
Caso 2	5,20 kWp	Cádiz A3	30,00 kW
Caso 3	5,20 kWp	Cádiz A3	12,50 kW

Tabla 52. Suposiciones para el estudio de la influencia del tipo de factura en un edificio.

Objetivo:

El objetivo de este apartado es calcular como influye el tipo de factura en la rentabilidad de la planta solar fotovoltaica para los tres casos de demanda.

Caso 1:

Caso 1, 5,2 kWp, 0 kW, Cádiz	
Ubicación	Años amortización
2.1 A	5,98
3.0 A	6,86
3.1 A	7,10
6.1 A	7,19

Tabla 53. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 1.

En la tabla 51 se refleja como influye el tipo de factura eléctrica en los años de amortización de la planta solar fotovoltaica para el caso 1.



Figura 63. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 1.

En la figura 63 se observa como los años de amortización suben al aumentar el tipo de tarifa (de 2.1 A a 6.1A), este cambio se debe al ahorro en energía variable.

El ahorro en energía variable depende del precio €/kWh, el cual siempre es mayor en tarifas 2.1A (pequeños consumidores) y disminuye con el aumento de la tarifa eléctrica. Cuanto mayor sea la potencia contratada menor será el precio €/kWh.

Caso 2:

Caso 2, 5,2 kWp, 30 kW, Cádiz	
Ubicación	Años amortización
2.1 A	4,24
3.0 A	9,46
3.1 A	11,28
6.1 A	12,30

Tabla 54. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 2.

En la tabla 51 se refleja como influye el tipo de factura eléctrica en los años de amortización de la planta solar fotovoltaica para el caso 2.



Figura 64. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 2.

En el caso 2 ocurre lo mismo que en el caso 1, ya que el tipo de demanda del edificio no influye en los precios de las tarifas eléctricas, y una tarifa 2.1A siempre tendrá precios más altos que una tarifa superior.

Caso 3:

Caso 3, 5,2 kWp, 12,5 kW, Cádiz	
Ubicación	Años amortización
2.1 A	5,14
3.0 A	9,87
3.1 A	11,43
6.1 A	12,11

Tabla 55. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 3.

En la tabla 53 se refleja como influye el tipo de factura eléctrica en los años de amortización de la planta solar fotovoltaica para el caso 3.



Figura 65. Influencia del tipo de factura eléctrica para el Caso 3.

En el caso 3 ocurre lo mismo que en los casos 1 y 2.

3.9.4 Influencia del tamaño del banco de baterías

Suposiciones:

	Tamaño Planta FV	Ubicación	Tarifa
Caso 1	5,20 kWp	Cádiz A3	2.1 A
Caso 2	5,20 kWp	Cádiz A3	2.1 A
Caso 3	5,20 kWp	Cádiz A3	2.1 A

Tabla 56. Suposiciones para el estudio de la influencia del tamaño del banco de baterías para los tres casos de demanda en edificios con conexión a la red eléctrica.

Objetivo:

El objetivo de este apartado es estudiar como influye el tamaño del banco de baterías en la rentabilidad de plantas solares fotovoltaicas para los tres casos de demanda con conexión a la red eléctrica.

Caso 1:

Caso 1, Cadiz, Tarifa 2.1 A		
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización
5,20 kWp	0,00 kWp	5,98
5,20 kWp	2,50 kWp	6,52
5,20 kWp	5,00 kWp	6,81
5,20 kWp	7,50 kWp	7,06
5,20 kWp	10,00 kWp	7,17
5,20 kWp	12,50 kWp	7,25
5,20 kWp	15,00 kW	7,38
5,20 kWp	17,50 kW	7,66
5,20 kWp	20,00 kW	8,03
5,20 kWp	22,50 kW	7,52
5,20 kWp	25,00 kW	7,77
5,20 kWp	27,50 kW	7,95
5,20 kWp	30,00 kW	8,22

Tabla 57. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 1.

En la tabla 57 se observa como influye el tamaño del banco de baterías para el edificio del caso 1 con conexión a la red eléctrica.

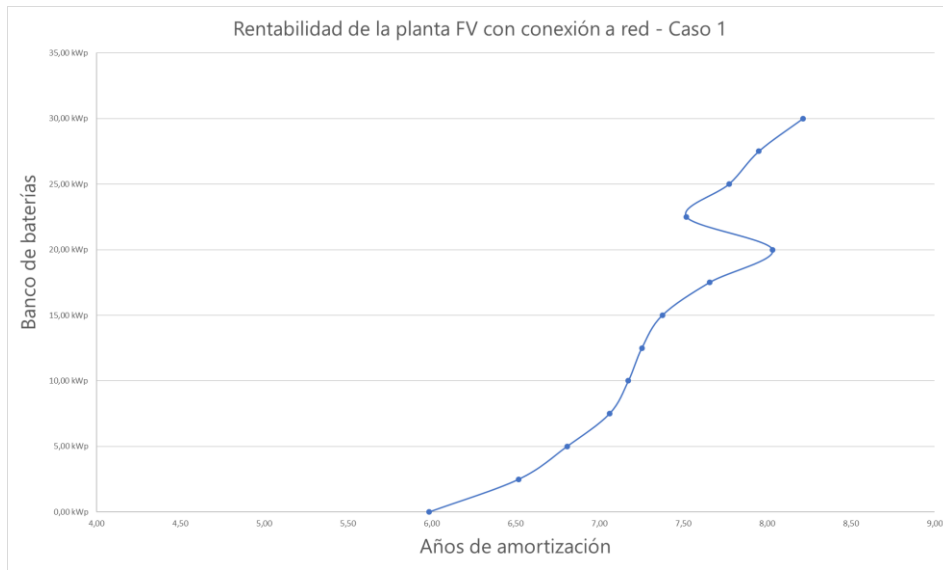


Figura 66. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 1.

En la figura 66 es posible observar que la combinación de paneles y baterías más favorable (con menor número de años de amortización) es aquella que no tiene acumulación. Esta planta renovable se estima que sería amortizada en 5,98 años aproximadamente.

El hecho de que la planta solar fotovoltaica más rentable sea aquella que no lleva baterías, es debido a que las horas de mayor demanda coinciden con las horas de mayor producción solar fotovoltaica, y por lo tanto, para aprovechar la energía solar de los paneles no es necesario hacer uso de baterías.

Caso 2:

Caso 2, Cadiz, Tarifa 2.1 A		
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización
5,20 kWp	0,00 kW	5,35
5,20 kWp	2,50 kW	5,95
5,20 kWp	5,00 kW	6,53
5,20 kWp	7,50 kW	7,11
5,20 kWp	10,00 kW	7,70
5,20 kWp	12,50 kW	7,50
5,20 kWp	15,00 kW	6,48
5,20 kWp	17,50 kW	6,58
5,20 kWp	20,00 kW	6,15
5,20 kWp	22,50 kW	5,99
5,20 kWp	25,00 kW	5,41
5,20 kWp	27,50 kW	4,77
5,20 kWp	30,00 kW	4,24
5,20 kWp	32,50 kW	4,39
5,20 kWp	35,00 kW	4,53
5,20 kWp	37,50 kW	4,68
5,20 kWp	40,00 kW	4,83

Tabla 58. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 2.

En la tabla 58 se observa como influye el tamaño del banco de baterías para el edificio del caso 2 con conexión a la red eléctrica.

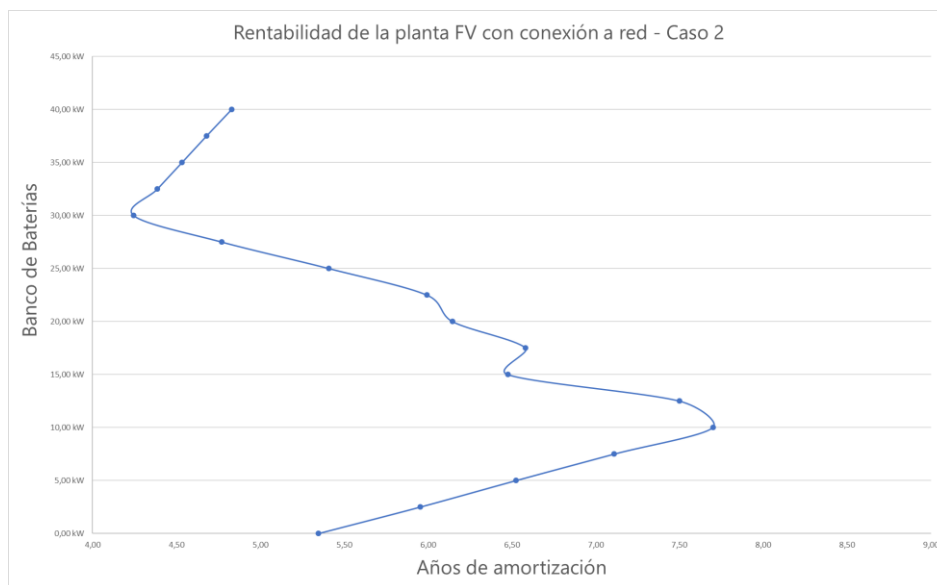


Figura 67. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 2.

En la figura 67 se observa que para el caso 2, el tamaño del banco de baterías más rentable es de 30 kW. Esta planta renovable se estima que sería amortizada en 4,24 años aproximadamente. Tal y como se aprecia en la gráfica, para un mismo número de paneles (5,2 kWp que son 16 paneles de 325 Wp) existe un gran diferencia entre los años de amortización de la planta con 10 kW de acumulación y con 30 kW de acumulación. Este cambio brusco en la tendencia de la curva se debe a que las horas de demanda no coinciden con las horas de mayor producción solar fotovoltaica (al contrario de lo que ocurre en el caso 1), y con 30 kW de acumulación es posible recoger toda esa energía generada por los paneles y no autoconsumida para su posterior uso.

Caso 3:

Caso 3, Cadiz, Tarifa 2.1 A		
Tamaño Planta FV	Banco Baterías	Años amortización
5.20 kWp	0,00 kW	5.30
5.20 kWp	2,50 kW	5.78
5.20 kWp	5,00 kW	5.85
5.20 kWp	7,50 kW	5.66
5.20 kWp	10,00 kW	5.82
5.20 kWp	12,50 kW	5.14
5.20 kWp	15,00 kW	5.39
5.20 kWp	17,50 kW	5.69
5.20 kWp	20,00 kW	6.00
5.20 kWp	22,50 kW	6.30
5.20 kWp	25,00 kW	6.58
5.20 kWp	27,50 kW	6.88
5.20 kWp	30,00 kW	7.18
5.20 kWp	32,50 kW	7.50
5.20 kWp	35,00 kW	7.82
5.20 kWp	37,50 kW	8.14
5.20 kWp	40,00 kW	8.45

Tabla 59. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 3.

En la tabla 59 se muestra como influye el tamaño del banco de baterías para el edificio del caso 3 con conexión a la red eléctrica.

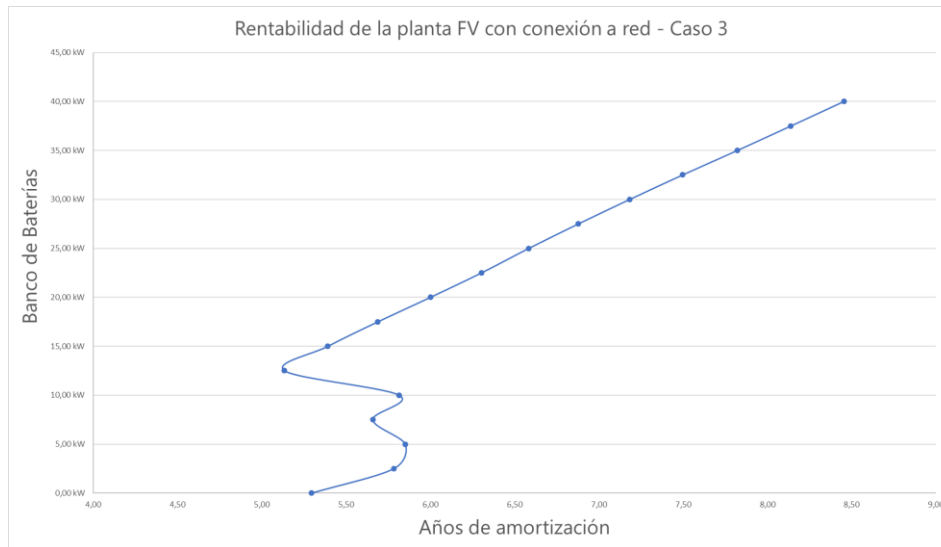


Figura 68. Influencia del tamaño del banco de baterías para el Caso 3.

Para el caso 3, el tamaño de banco de baterías más rentable es de 12,5 kW. Esta planta renovable se estima que sería amortizada en 5,14 años aproximadamente.

En los tres casos es posible observar una tendencia similar, una planta pequeña es fácil de amortizar, ya que la inversión inicial es inferior. Además, la venta de energía no da grandes beneficios, por lo que en ninguno de los tres casos es aconsejable entender las plantas como plantas dedicadas a la venta de energía. Si es cierto, que por muy pequeña que sea la planta fotovoltaica, parte de la energía no será en algún momento determinado ni autoconsumida ni guardada en baterías, por lo que nunca está de más un beneficio por esa energía volcada a la red, por muy pequeña que sea.

En la figura 68 es posible distinguir la misma tendencia que en el caso 2 (figura 67), ya que al igual que antes, para un mismo número de paneles (5,2 kWp que son 16 paneles de 325 Wp) existe un gran diferencia entre los años de amortización de la planta con 10 kW de acumulación y con 30 kW de acumulación. En este caso se puede observar como para una planta de 5,2 kWp la amortización cambia al pasar de 5 kW de acumulación a 12,5 kW. Al igual que en el caso 2, esto es debido a que las horas de demanda no coinciden con las horas de mayor producción solar fotovoltaica, (al contrario de lo que ocurre en el caso 1), y con 12,5 kW de acumulación es posible recoger toda esa energía generada por los paneles y no autoconsumida para su posterior uso.

Por otro lado, las baterías ayudan a aprovechar la energía producida por los paneles y disminuye la necesidad de estar conectados a la red eléctrica, sin embargo, su alto coste provoca que solo sean rentables plantas renovables con un banco de baterías pequeño, en el caso 3, la amortización sube notablemente a partir de los 12,5 kW de acumulación.

3.10 Ahorro en emisiones de CO2

Actualmente, la contaminación es un grave problema de salud pública que provoca unos 7 millones de muertes al año. Es también la causa de múltiples enfermedades a largo plazo y de un coste sanitario de 3.600 millones de euros al año.

La UE propone reducir las emisiones de CO2 y otros gases contaminantes hasta llegar a la descarbonización total para 2050. Por esta razón, las energías renovables juegan un papel muy importante.

En este apartado se va a proceder al cálculo del ahorro de CO2. Para la explicación de este apartado se hará uso del caso 1 de demanda conectado a red:

Si se sabe que 1 kWh producido por una instalación solar fotovoltaica produce un ahorro de 0,4 kg de CO2,

es posible calcular el ahorro en CO2 que supone una instalación de 5,2 kWp (tabla 60 y figura 69):

5,2 kWp, 0 kW, Cádiz, tarifa 2.1A		
	Produccion solar	Ahorro CO2
Enero	671 kWh	268 kg CO2
Febrero	715 kWh	286 kg CO2
Marzo	900 kWh	360 kg CO2
Abril	932 kWh	373 kg CO2
Mayo	1037 kWh	415 kg CO2
Junio	1011 kWh	404 kg CO2
Julio	1106 kWh	442 kg CO2
Agosto	1129 kWh	452 kg CO2
Septiembre	955 kWh	382 kg CO2
Octubre	893 kWh	357 kg CO2
Noviembre	705 kWh	282 kg CO2
Diciembre	639 kWh	256 kg CO2
TOTAL	10692 kWh	4277 kg CO2

Tabla 60. Ahorro CO2 anual en función de la producción solar.

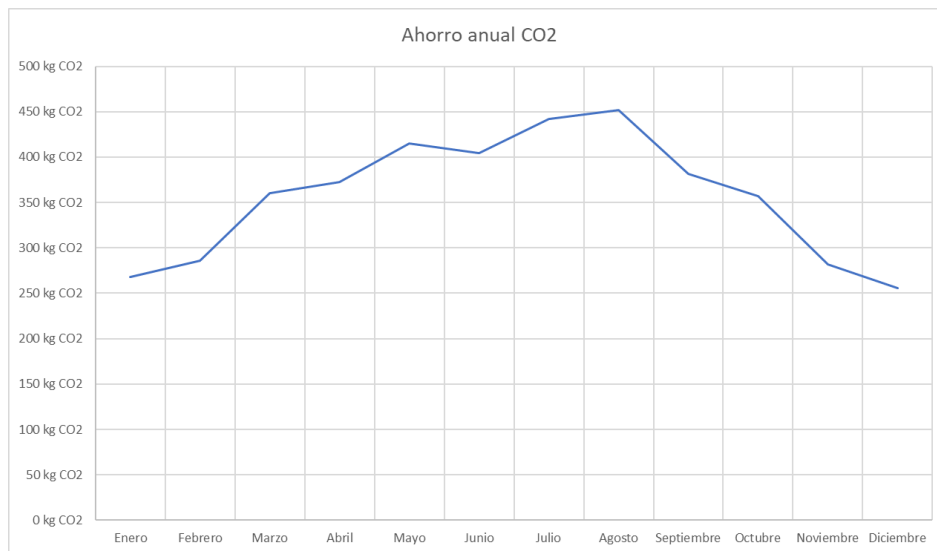


Figura 69. Ahorro CO2 anual en función de la producción solar.

Potencia total:	5,20 kWp
Producción anual estimada:	10.692 kWh/año
Producción solar a 10 años:	104.545 kWh (10 años)
CO2 evitado en 10 años:	41.818 Kg de CO2 (10 años)
Producción hasta fin de vida útil (25 años):	251.859 kWh (25 años)
Total CO2 evitado:	100.743 Kg de CO2 (25 años)

Figura 70. Ahorro CO2 durante la vida útil de los paneles solares fotovoltaicos.

Si suponemos que la degradación anual de los paneles es del 5%, es posible calcular la producción anual

hasta el fin de vida útil de los paneles (25 años) y el total de CO2 evitado durante su funcionamiento (tabla 70).

4 BIBLIOGRAFÍA

- [1] ADRESE (Acceso a datos de radiación solar de España). < <mailto:http://adrase.com/> >.
- [2] Antonio Luis Madrigal Villegas. "1. "Proyecto de una instalación solar fotovoltaica monitorizada en cubierta de nave industrial y marquesina de aparcamiento", 2010.
- [3] Documento Básico HE de ahorro de energía. "Zonas Climáticas", 2017.
- [4] Eduardo Lorenzo. "Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos, volumen ii", 2014.
- [5] El País. "Carbon Global Project".
- [6] Endesa. < <mailto:https://www.endesaclientes.com/catalogo/luz.html> >.
- [7] Eurostat. "Fuentes de la generación de electricidad en Europa", 2018.
- [8] Grupo de Termotécnia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, "Decision-making approach: A simplified model for energy performance evaluation of photovoltaic modules", Sevilla, 2018.
- [9] G. Tyler Miller jr. "Living in the environment" 11th ed. brooks/cole, 2000.
- [10] International Energy Agency. "Human development report", 2004.
- [11] Javier Porcel Martínez. "Alternativas de almacenamiento en instalaciones de producción de frío con energía solar fotovoltaica", 2014.
- [12] J.r. Jouzel. "Climate and atmospheric history of the past 420.000 years from the vostok ice core in antartica, nature 399".
- [13] Juan Antonio Cuenca Santos. "3. Centro prosumidor de energía eléctrica fotovoltaica para la recarga de vehículos eléctricos", 2016.
- [14] Profesor Richard Perez. "Disponibilidad de fuentes de energía renovable (y no renovable)", University of Albany.
- [15] PVGIS. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. < mailto:https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html >.
- [16] Real Decreto 244/2019, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, 5 abril 2019.
- [17] Red Eléctrica de España. "Evolución de la tramitación de los procedimientos de acceso y conexión de la generación eólica y solar fotovoltaica", 2019.
- [18] Red Eléctrica de España. "Porcentaje de nudos sin capacidad en cada comunidad autónoma", 2019.

