



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES  
Grado en Ingeniería en Organización Industrial

# ESTUDIO ECONÓMICO DE LA REUTILIZACIÓN DE PANELES SOLARES EN PEQUEÑAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Autor:

MARÍA GONZÁLEZ CANO

Tutor:

MIGUEL ÁNGEL GONZÁLEZ REBOLLO

Departamento de Física de la Materia  
Condensada,  
Cristalografía y Mineralogía

Valladolid, Julio 2020



## RESUMEN

---

La generación eléctrica a partir de energía solar es limpia, asequible y renovable. Por este motivo, ha sufrido un importante crecimiento en los últimos años y se ha situado como la tercera fuente de generación de energía renovable con más peso en España.

Las plantas fotovoltaicas son cada vez de mayor tamaño y emplean miles de módulos en su construcción. Estos módulos sufren una degradación continua de sus células que hace que se reduzca su rendimiento y, por este motivo, son desechadas por las grandes empresas aunque, en algunos casos, no hayan alcanzado el final de su vida útil.

Este proyecto estudia de forma técnica y económica la reutilización de los paneles fotovoltaicos de Silicio, por ser los más utilizados actualmente, con el fin reducir la inversión inicial de las instalaciones de autoconsumo fotovoltaico y de ofrecer una segunda vida a los módulos que resultan aptos para continuar produciendo energía.

## PALABRAS CLAVE

---

Energía solar, fotovoltaica, reutilización, paneles, silicio, instalaciones



## ABSTRACT

---

Electricity generation from solar energy is clean, affordable and renewable. For this reason, it has grown a lot during the last years and has become the third source of renewable energy generation in Spain.

Photovoltaic power generation plants are getting larger and using thousands of modules in their construction. These modules suffer continuous degradation of their cells, which reduces their performance. For this reason, they are discarded by large companies even though they have not reached the end of their useful life.

This project studies in a technical and economic way the reuse of Silicon photovoltaic panels, as they are the most used at present, in order to reduce the initial investment of photovoltaic self-consumption installations and to offer a second life to the modules that are suitable for continuing to produce energy.

## KEYWORDS

---

Solar energy, photovoltaic, reuse, panels, Silicon, installations



# ÍNDICE

---

|  |    |
|--|----|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....   | 1  |
| 1.1. Antecedentes y Justificación del Proyecto.....                                | 1  |
| 1.2. Objetivo del Proyecto.....  | 2  |
| 1.3. Alcance del Proyecto .....  | 3  |
| 1.4. Organización del Proyecto .....   | 4  |
| <b>2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA</b> .....   | 7  |
| 2.1. Sistemas Fotovoltaicos .....  | 8  |
| 2.2. Célula Solar.....   | 10 |
| 2.2.1. Funcionamiento de una Célula Solar FV.....                                  | 10 |
| 2.2.2. Características Físicas y Eléctricas de las Células FV.....                 | 14 |
| 2.2.3. Generaciones de Células Solares FV .....                                    | 19 |
| 2.3. Panel Fotovoltaico .....  | 21 |
| 2.3.1. Tipos de Paneles FV .....   | 22 |
| 2.3.2. Características Físicas y Eléctricas de los Paneles FV.....                 | 23 |
| 2.4. Fabricación de Células y Paneles Fotovoltaicos.....                           | 28 |
| 2.5. Vida Útil de los Paneles Fotovoltaicos .....                                  | 29 |
| 2.6. Reciclaje de Paneles Fotovoltaicos.....                                       | 30 |
| 2.7. Tasa de Retorno Energético y Tiempo de Amortización Energética .              | 31 |
| 2.8. Huella Ambiental .....  | 33 |
| <b>3. ENTORNO SOCIAL, ECONÓMICO Y LEGAL DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA</b> ..... | 35 |
| 3.1. Actualidad y Tendencias Futuras .....   | 36 |
| 3.1.1. Expansión.....  | 36 |
| 3.1.2. Coste de la Tecnología .....  | 41 |
| 3.1.3. Coste de la Energía Producida .....   | 43 |
| 3.1.4. Producción de Paneles y Tecnología.....                                     | 44 |
| 3.2. Europa .....  | 47 |
| 3.3. España .....  | 50 |
| <b>4. REUTILIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS</b> .....                             | 59 |
| 4.1. Definición de Fallo de un Panel Fotovoltaico .....                            | 59 |
| 4.2. Origen de los Fallos en los Paneles FV .....                                  | 60 |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 4.2.1.    | Elementos de Sujeción .....   | 60        |
| 4.2.2.    | Transporte e Instalación .....  | 61        |
| 4.2.3.    | Componentes de Conexión.....  | 62        |
| 4.3.      | Clasificación de los Fallos.....  | 62        |
| 4.3.1.    | En función de la Pérdida de Potencia .....  | 62        |
| 4.3.2.    | En función de la Afección sobre la Seguridad.....   | 63        |
| 4.4.      | Detección de Fallos en Módulos .....  | 64        |
| 4.5.      | Análisis de la Aptitud para la Reutilización de un Módulo .....                             | 66        |
| 4.5.1.    | Inspección Visual.....  | 67        |
| 4.5.1.1.  | Identificación y Chequeo Inicial del Panel (Ficha 1).....                                   | 67        |
| 4.5.1.2.  | Evaluación de Fallos.....   | 68        |
| 4.5.2.    | Determinación de Características Eléctricas.....  | 73        |
| 4.5.2.1.  | Toma de Medidas de Intensidad-Voltaje (Ficha 2).....  | 73        |
| 4.5.2.2.  | Efecto de los Fallos sobre la Curva I-V .....   | 74        |
| 4.5.2.3.  | Reparación del panel.....   | 77        |
| 4.5.3.    | Resultados de la Evaluación y Comprobación de Requisitos Mínimos de Calidad (Ficha 3) ..... | 78        |
| 4.6.      | Costes de Reutilización .....   | 79        |
| <b>5.</b> | <b>ESTUDIO ECONÓMICO .....</b>  | <b>83</b> |
| 5.1.      | Inversión Inicial.....  | 83        |
| 5.2.      | Financiación.....   | 85        |
| 5.3.      | Horizonte Temporal .....  | 86        |
| 5.4.      | Flujo de Caja .....   | 86        |
| 5.5.      | Viabilidad Económica: VAN, TIR y Pay-Back.....  | 88        |
| <b>6.</b> | <b>CASOS PRÁCTICOS.....</b>   | <b>91</b> |
| 6.1.      | Consideraciones Iniciales .....   | 92        |
| 6.1.1.    | Características Técnicas de los Equipos.....  | 93        |
| 6.1.2.    | Obra Civil e Instalación de Elementos .....   | 94        |
| 6.1.3.    | Ingeniería: Elaboración de Documentación Técnica y Dirección de Obra                        | 95        |
| 6.1.4.    | Legalización .....  | 95        |
| 6.1.5.    | Compensación de Excedentes .....  | 96        |
| 6.2.      | CASO 1: Instalación Fotovoltaica Conectada a Red de 5 kW.....                               | 97        |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 6.2.1.   | EJEMPLO 5A: Paneles Nuevos.....                                 | 97  |
| 6.2.1.1. | Inversión Inicial .....   | 98  |
| 6.2.1.2. | Financiación .....  | 99  |
| 6.2.1.3. | Amortizaciones.....   | 99  |
| 6.2.1.4. | Ahorros .....   | 100 |
| 6.2.1.5. | Gastos.....   | 107 |
| 6.2.1.6. | Impuestos.....  | 108 |
| 6.2.1.7. | Flujo de Caja y Rentabilidad.....                               | 108 |
| 6.2.2.   | EJEMPLO 5B: Paneles Reutilizados .....                          | 111 |
| 6.2.2.1. | Inversión Inicial .....   | 112 |
| 6.2.2.2. | Financiación .....  | 114 |
| 6.2.2.3. | Amortizaciones.....   | 114 |
| 6.2.2.4. | Ahorros .....   | 115 |
| 6.2.2.5. | Gastos.....   | 118 |
| 6.2.2.6. | Impuestos.....  | 119 |
| 6.2.2.7. | Flujo de Caja y Rentabilidad.....                               | 119 |
| 6.2.3.   | Análisis Comparativo de los Resultados.....                     | 122 |
| 6.3.     | CASO 2: Instalación Fotovoltaica Conectada a Red de 20 kW ..... | 128 |
| 6.3.1.   | EJEMPLO 20A: Paneles Nuevos .....                               | 128 |
| 6.3.1.1. | Inversión Inicial .....   | 129 |
| 6.3.1.2. | Financiación .....  | 130 |
| 6.3.1.3. | Amortizaciones.....   | 130 |
| 6.3.1.4. | Ahorros .....   | 131 |
| 6.3.1.5. | Gastos.....   | 135 |
| 6.3.1.6. | Impuestos.....  | 136 |
| 6.3.1.7. | Flujo de Caja y Rentabilidad.....                               | 137 |
| 6.3.2.   | EJEMPLO 20B: Paneles Reutilizados .....                         | 140 |
| 6.3.2.1. | Inversión Inicial .....   | 141 |
| 6.3.2.2. | Financiación .....  | 142 |
| 6.3.2.3. | Amortizaciones.....   | 143 |
| 6.3.2.4. | Ahorros .....   | 143 |
| 6.3.2.5. | Gastos.....   | 147 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 6.3.2.6.  | Impuestos.....  | 147        |
| 6.3.2.7.  | Flujo de Caja y Rentabilidad.....   | 148        |
| 6.3.3.    | Análisis Comparativo de los Resultados.....   | 150        |
| 6.4.      | Análisis de los resultados .....  | 155        |
| 6.4.1.    | Conclusiones derivadas de los Casos Prácticos .....   | 155        |
| 6.4.2.    | Ventajas e Inconvenientes de las Instalaciones FV realizadas a partir de Paneles Reutilizados ..... | 159        |
| 6.4.3.    | Proyección Futura del estudio .....   | 160        |
| 6.4.3.1.  | CASO 1: Instalación Fotovoltaica de 5 kW .....  | 161        |
| 6.4.3.2.  | CASO 2: Instalación Fotovoltaica de 20 kW.....  | 167        |
| 6.4.3.3.  | Conclusiones de la Proyección Futura .....  | 172        |
| <b>7.</b> | <b>CONCLUSIONES .....</b>   | <b>177</b> |
|           | <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>  | <b>181</b> |
|           | <b>ANEXOS.....</b>  | <b>185</b> |
|           | ANEXO I – FICHAS PARA EL ESTUDIO DE LA APTITUD PARA LA REUTILIZACIÓN DE PANELES .....               | 185        |
|           | ANEXO II – FICHAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN. ....                                 | 185        |
|           | ANEXO III - CÁLCULOS.....   | 185        |

## LISTA DE FIGURAS

---

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Ilustración 1. Componentes Básicos de un Sistema Fotovoltaico (2).....</i>   | <i>9</i>  |
| <i>Ilustración 2. Estructura de una Célula Solar/ Fuente: Mc-graw-Hill, 2010. ....</i>  | <i>10</i> |
| <i>Ilustración 3. Estructura de un Átomo de Silicio .....</i>   | <i>10</i> |
| <i>Ilustración 4. Cristal de Silicio / Fuente: science.org.au .....</i>   | <i>11</i> |
| <i>Ilustración 5. Estructura Átomo de Fósforo. 5 electrones en su capa de valencia ....</i>   | <i>11</i> |
| <i>Ilustración 6. Estructura del Silicio dopado con Fósforo. Semiconductor de tipo N...12</i>   | <i>12</i> |
| <i>Ilustración 7. Estructura Átomo de Boro. 3 electrones en su capa de valencia. ....</i>   | <i>12</i> |
| <i>Ilustración 8. Estructura del Silicio dopado con Boro. Semiconductor de tipo P.....</i>  | <i>12</i> |
| <i>Ilustración 9. Campo eléctrico debido a la Difusión de electrones entre semiconductores P y N/ Fuente: science.org.au.....</i>                           | <i>13</i> |
| <i>Ilustración 10. Esquema del Funcionamiento de una Célula Solar FV/ Fuente: Mr Watt (www.mrwatt.eu).....</i>  | <i>13</i> |
| <i>Ilustración 11. Circuito Equivalente de una Célula Fotovoltaica (2) .....</i>  | <i>15</i> |
| <i>Ilustración 12. Curva característica I-V Célula Fotovoltaica (2).....</i>  | <i>15</i> |
| <i>Ilustración 13. Funcionamiento Interno de una Célula solar FV en condiciones de Circuito Abierto y de Cortocircuito/ Fuente: Tritec-Intervento .....</i> | <i>16</i> |
| <i>Ilustración 14. Variación Curva Característica-Temperatura (2).....</i>  | <i>17</i> |
| <i>Ilustración 15. Variación Curva Característica-Radiación (2).....</i>  | <i>17</i> |
| <i>Ilustración 16. Resistencia en Paralelo (<math>R_p</math>) del circuito eléctrico equivalente de una célula FV (2).....</i>                              | <i>18</i> |
| <i>Ilustración 17. Resistencia en Serie (<math>R_s</math>) del circuito eléctrico equivalente de una célula FV (2).....</i>                                 | <i>18</i> |
| <i>Ilustración 18 Comparación de la Eficiencia de las Células Fotovoltaicas (27-01-2020) (4) .....</i>  | <i>20</i> |
| <i>Ilustración 19. Partes de un Panel Solar FV (5).....</i>   | <i>21</i> |
| <i>Ilustración 20. Tipos de Paneles Solares FV/ Fuente: Tritec-Intervento.....</i>  | <i>22</i> |
| <i>Ilustración 21. Comparación de la Eficiencia de las Tecnologías Fotovoltaicas (6)...</i>   | <i>23</i> |
| <i>Ilustración 22. Asociación serie/paralelo entre células .....</i>  | <i>24</i> |
| <i>Ilustración 23. Configuración módulo de 36 células en serie.....</i>   | <i>24</i> |
| <i>Ilustración 24. Ejemplo de Módulo FV Policristalino de 60 células, 30V y 265W (JKM265P-60, JinkoSolar).....</i>  | <i>25</i> |
| <i>Ilustración 25. Forma Curva Característica I-V de un Panel FV (2) .....</i>  | <i>25</i> |
| <i>Ilustración 26. Conexión de Paneles FV en Serie (7) .....</i>  | <i>26</i> |
| <i>Ilustración 27. Conexión de Paneles FV en Paralelo (7).....</i>  | <i>26</i> |
| <i>Ilustración 28. Caja de Conexiones de un Módulo FV (7).....</i>  | <i>26</i> |
| <i>Ilustración 29. Esquema de instalación de diodos de Bypass y de bloqueo a Paneles FV (8).....</i>  | <i>27</i> |
| <i>Ilustración 30. Evolución de la Fabricación de un Panel Fotovoltaico.....</i>  | <i>28</i> |
| <i>Ilustración 31. Evolución del EPBT de los Sistemas Fotovoltaicos entre 1970 y 2010 por tipos de tecnología (11) .....</i>                                | <i>32</i> |
| <i>Ilustración 32. Evolución del EPBT para paneles de Silicio Mono y Policristalino entre 1975-2015 (12).....</i>   | <i>32</i> |
| <i>Ilustración 33. Rangos Estimados de EROI y EPBT (2018) (13).....</i>   | <i>33</i> |
| <i>Ilustración 34. Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas en función del tipo de fuente (16).....</i>   | <i>34</i> |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Ilustración 35. Evolución Global de la capacidad PV instalada 2000-2013. (17).....</i>  | <i>35</i> |
| <i>Ilustración 36. Tasas de Crecimiento anual promedio de la producción de electricidad en la OCDE, 2000-2018 (18).....</i>  | <i>37</i> |
| <i>Ilustración 37. Potencia PV instalada acumulada mundial (en GW) en el 2018 (16)</i>   | <i>37</i> |
| <i>Ilustración 38. Evolución Global anual de la capacidad PV instalada 2007-2018 (16).....</i>   | <i>38</i> |
| <i>Ilustración 39. Mapa de Potencia PV instalada en Europa por países 2018 (GW) (16).....</i>  | <i>38</i> |
| <i>Ilustración 40. Potencia PV instalada en Europa por países 2018 (GW) (16).....</i>  | <i>39</i> |
| <i>Ilustración 41. Situación Actual y futuro de la Energía Solar Fotovoltaica (20).....</i>  | <i>40</i> |
| <i>Ilustración 42. Inversión Actual y futura de la Energía Solar Fotovoltaica (7).....</i>   | <i>40</i> |
| <i>Ilustración 43. Precios de los Módulos de Silicio Monocristalino en China, Japón y Europa (21).....</i>   | <i>41</i> |
| <i>Ilustración 44. Precios de los Módulos PV por tecnología en Europa (22).....</i>  | <i>42</i> |
| <i>Ilustración 45. Índice de Precios de los Módulos PV por tecnología en Europa para Diciembre 2019 (22).....</i>  | <i>42</i> |
| <i>Ilustración 46. Coste Medio de la Energía Producida en Europa. Marzo 2018 (23)..</i>  | <i>43</i> |
| <i>Ilustración 47. LCOE actual y futuro de la Energía PV (20).....</i>   | <i>44</i> |
| <i>Ilustración 48. Producción de módulos fotovoltaicos por Región (1997-2017) (24).</i>  | <i>45</i> |
| <i>Ilustración 49. Producción Anual Fotovoltaica en Europa durante medidas anti-dumping (27).....</i>  | <i>46</i> |
| <i>Ilustración 50. Mapa Global de Irradiación Horizontal (29).....</i>   | <i>47</i> |
| <i>Ilustración 51. Mapa Europeo de Irradiación Horizontal (29).....</i>  | <i>48</i> |
| <i>Ilustración 52. Potencia PV anual instalada en Europa (2000-2018) (30).....</i>   | <i>48</i> |
| <i>Ilustración 53. Potencia PV acumulada en Europa (2000-2018) (30).....</i>   | <i>49</i> |
| <i>Ilustración 54. Mapa de Radiación Solar en España por zonas (35).....</i>   | <i>51</i> |
| <i>Ilustración 55. Evolución de Generación Renovable en España (2008-2018) (16) ..</i>   | <i>51</i> |
| <i>Ilustración 56. Potencia solar PV instalada anualmente en España (2007-2018) (16) (36).....</i>   | <i>52</i> |
| <i>Ilustración 57. Potencia solar PV instalada acumulada en España (2006-2018) (16) (36).....</i>  | <i>52</i> |
| <i>Ilustración 58. Potencia PV instalada (%) en España por Comunidad Autónoma (2018) (36).....</i>   | <i>53</i> |
| <i>Ilustración 59. Generación Eléctrica en España 2019 (38).....</i>   | <i>53</i> |
| <i>Ilustración 60. Esquema de la normativa vigente para Sistemas FV Aislados (46) ..</i>   | <i>55</i> |
| <i>Ilustración 61. Esquema de la normativa vigente para Centrales Fotovoltaicas (46)</i>   | <i>56</i> |
| <i>Ilustración 62. Esquema de la normativa vigente para Instalaciones de Autoconsumo (46).....</i>   | <i>57</i> |
| <i>Ilustración 63. A la izquierda, rotura de un panel FV debido a abrazadera mal diseñada. A la derecha, rotura del panel debido a tornillo demasiado apretado (47).....</i> | <i>61</i> |
| <i>Ilustración 64. Categorías de fallo en función de la afección sobre la seguridad (47).....</i>  | <i>63</i> |
| <i>Ilustración 65. Diagrama de Flujo del Procedimiento de Análisis de Aptitud de un Panel FV.....</i>  | <i>66</i> |
| <i>Ilustración 66. Ejemplo 5A - Diagrama Distribución del Presupuesto.....</i>   | <i>98</i> |

|  |            |
|--|------------|
| <i>Ilustración 67. Ejemplo 5A - Producción de energía mensual (por PVGIS) .....</i>  | <i>101</i> |
| <i>Ilustración 68. Ejemplo 5B - Diagrama Distribución del Presupuesto.....</i>   | <i>113</i> |
| <i>Ilustración 69. Ejemplo 5B - Producción de Energía Mensual (por PVGIS).....</i>   | <i>116</i> |
| <i>Ilustración 70. Comparación de la Distribución Porcentual del presupuesto para los ejemplos 5A y 5B .....</i>                               | <i>125</i> |
| <i>Ilustración 71. CASO 1 - Evolución del VAN para los ejemplos A y B.....</i>   | <i>127</i> |
| <i>Ilustración 72. Ejemplo 20A - Distribución del Presupuesto .....</i>  | <i>129</i> |
| <i>Ilustración 73. Ejemplo 20A - Producción de Energía Mensual Generada .....</i>  | <i>132</i> |
| <i>Ilustración 74. Ejemplo 20B - Diagrama Distribución del Presupuesto.....</i>  | <i>142</i> |
| <i>Ilustración 75. Ejemplo 20B - Producción de Energía Mensual Generada .....</i>  | <i>144</i> |
| <i>Ilustración 76. Comparación de la Distribución Porcentual del presupuesto para los ejemplos 20A y 20B .....</i>                             | <i>153</i> |
| <i>Ilustración 77. CASO 2 - Gráfico de la Evolución del VAN para los ejemplos 20A y 20B .....</i>  | <i>154</i> |
| <i>Ilustración 78. CASO 1-Futuro. Comparación de la Distribución Porcentual del presupuesto para los ejemplos 5A-Futuro y 5B-Futuro .....</i>  | <i>165</i> |
| <i>Ilustración 79. CASO 1-Futuro. Gráfico de la Evolución del VAN para los ejemplos 5A-Futuro y 5B-Futuro.....</i>                             | <i>166</i> |
| <i>Ilustración 80. CASO 2-Futuro. Comparación de la Distribución Porcentual del presupuesto para los ejemplos 20A-Futuro y 20B-Futuro.....</i> | <i>170</i> |
| <i>Ilustración 81. CASO 2-Futuro. Gráfico de la Evolución del VAN para los ejemplos 20A-Futuro y 20B-Futuro.....</i>                           | <i>171</i> |

## LISTA DE TABLAS

---

|   |     |
|---|-----|
| <i>Tabla 1. Generaciones de Células Solares FV (3)</i> .....  | 19  |
| <i>Tabla 2. Porcentaje anual de Degradación en función del Tipo de Tecnología (9)</i> ....  | 29  |
| <i>Tabla 3. Potencia fotovoltaica instalada acumulada mundial 2018</i> .....  | 37  |
| <i>Tabla 4. Top 10 Fabricantes de Módulos PV en 2018 (25)</i> .....   | 45  |
| <i>Tabla 5. Radiación Solar Media Diaria Anual por cada zona definida (35)</i> .....  | 50  |
| <i>Tabla 6. Categorías de fallo en función de la pérdida de potencia (47)</i> .....   | 63  |
| <i>Tabla 7. Factores de aumento de la pérdida de potencia (47)</i> .....  | 63  |
| <i>Tabla 8. Inspección Visual. Componentes y fallos (47)</i> .....  | 65  |
| <i>Tabla 9. Calificación de la afección sobre la seguridad y la potencia de los fallos de un panel FV (Adaptación de las Tab.5.1.2 y Tab 5.1.3 de (47))</i> ..... | 68  |
| <i>Tabla 10. Inspección Visual - Descripción de Fallos en Marco, Encapsulado y Protector Posterior</i> .....  | 70  |
| <i>Tabla 11. Inspección Visual - Descripción de fallos en Células Fotovoltaicas</i> .....   | 71  |
| <i>Tabla 12. Inspección Visual - Descripción de Fallos en Caja de Conexiones, Conectores y Cableado</i> .....   | 72  |
| <i>Tabla 13. Valores Eléctricos Típicos Curvas I-V (47)</i> .....   | 74  |
| <i>Tabla 14. Clasificación de fallos en las Curvas I-V. "Modelos S" (Adaptación de Tabla 5.2.2 de (47))</i> .....   | 76  |
| <i>Tabla 15. Estudio para la Reutilización - 100 Paneles</i> .....  | 81  |
| <i>Tabla 16. Coste por Etapas y Coste Total de Reutilización por panel apto</i> .....   | 82  |
| <i>Tabla 17. Inversión Inicial de una Instalación Fotovoltaica</i> .....  | 83  |
| <i>Tabla 18. Tabla para el Cálculo de los Flujos de Caja</i> .....  | 86  |
| <i>Tabla 19. Organización de Casos y Ejemplos</i> .....   | 91  |
| <i>Tabla 20. Ejemplo 5A - Características Generales</i> .....   | 97  |
| <i>Tabla 21. Ejemplo 5A - Presupuesto Inversión Inicial</i> .....   | 98  |
| <i>Tabla 22. Ejemplo 5A - Financiación</i> .....  | 99  |
| <i>Tabla 23. Ejemplo 5A - Devolución Préstamo</i> .....   | 99  |
| <i>Tabla 24. Ejemplo 5A - Amortizaciones</i> .....  | 100 |
| <i>Tabla 25. Ejemplo 5A - Datos proporcionados a PVGIS</i> .....  | 100 |
| <i>Tabla 26. Ejemplo 5A - Datos de salida calculados por PVGIS</i> .....  | 101 |
| <i>Tabla 27. Ejemplo 5A - Datos tarifa eléctrica contratada</i> .....   | 102 |
| <i>Tabla 28. Ejemplo 5A - Producción. Autoconsumo y excedentes</i> .....  | 104 |
| <i>Tabla 29. Ejemplo 5A - Cálculo del Ahorro</i> .....  | 105 |
| <i>Tabla 30. Ejemplo 5A - Ahorro total</i> .....  | 106 |
| <i>Tabla 31. Ejemplo 5A - Gastos Anuales</i> .....  | 107 |
| <i>Tabla 32. Ejemplo 5A - Cuenta de Resultados</i> .....  | 108 |
| <i>Tabla 33. Ejemplo 5A - Rentabilidad</i> .....  | 109 |
| <i>Tabla 34. Ejemplo 5A - Pay-Back Descontado</i> .....   | 110 |
| <i>Tabla 35. Ejemplo 5A - Resultado TIR</i> .....   | 110 |
| <i>Tabla 36. Ejemplo 5B - Características Generales</i> .....   | 112 |
| <i>Tabla 37. Ejemplo 5B - Presupuesto Inversión Inicial</i> .....   | 113 |
| <i>Tabla 38. Ejemplo 5B - Financiación</i> .....  | 114 |
| <i>Tabla 39. Ejemplo 5B - Devolución Préstamo</i> .....   | 114 |
| <i>Tabla 40. Ejemplo 5B - Amortizaciones</i> .....  | 115 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 41. Ejemplo 5B - Datos Proporcionados a PVGIS.....                         | 115 |
| Tabla 42. Ejemplo 5B - Datos de Salida Calculados por PVGIS .....                | 115 |
| Tabla 43. Ejemplo 5B - Datos para el Cálculo de Ahorros.....                     | 116 |
| Tabla 44. Ejemplo 5B - Producción y Excedentes .....                             | 117 |
| Tabla 45. Ejemplo 5B - Cálculo del Ahorro .....                                  | 117 |
| Tabla 46. Ejemplo 5B - Ahorro Total.....   | 118 |
| Tabla 47. Ejemplo 5B - Gastos.....   | 119 |
| Tabla 48. Ejemplo 5B - Cuenta de Resultados.....                                 | 120 |
| Tabla 49. Ejemplo 5B - Rentabilidad.....   | 120 |
| Tabla 50. Ejemplo 5B - Pay-Back Descontado .....                                 | 121 |
| Tabla 51. Ejemplo 5B - Resultado TIR .....                                       | 121 |
| Tabla 52. Resultados Ejemplo 5A .....  | 122 |
| Tabla 53. Resultados Ejemplo 5B .....  | 123 |
| Tabla 54. Ejemplo 5B (Paneles Reutilizados) vs Ejemplo 5A (Paneles nuevos) ..... | 123 |
| Tabla 55. Ejemplo 20A - Características Generales.....                           | 128 |
| Tabla 56. Ejemplo 20A - Presupuesto Inversión Inicial.....                       | 129 |
| Tabla 57. Ejemplo 20A - Financiación .....                                       | 130 |
| Tabla 58. Ejemplo 20A - Devolución Préstamo .....                                | 130 |
| Tabla 59. Ejemplo 20A - Amortizaciones .....                                     | 131 |
| Tabla 60. Ejemplo 20A - Datos Proporcionados a PVGIS .....                       | 131 |
| Tabla 61. Ejemplo 20A - Datos de Salida calculados por PVGIS.....                | 131 |
| Tabla 62. Ejemplo 20A - Datos para el cálculo de ahorros.....                    | 132 |
| Tabla 63. Ejemplo 20A - Características Tarifa Contratada .....                  | 133 |
| Tabla 64. Ejemplo 20A - Producción. Autoconsumo y Excedentes.....                | 133 |
| Tabla 65. Ejemplo 20A - Cálculo del Ahorro.....                                  | 134 |
| Tabla 66. Ejemplo 20A - Ahorro Total .....                                       | 135 |
| Tabla 67. Ejemplo 20A - Gastos .....   | 136 |
| Tabla 68. Ejemplo 20A - Cuenta de Resultados.....                                | 137 |
| Tabla 69. Ejemplo 20A - Rentabilidad .....                                       | 138 |
| Tabla 70. Ejemplo 20A - Pay-Back Descontado .....                                | 138 |
| Tabla 71. Ejemplo 20A - Resultado TIR .....                                      | 139 |
| Tabla 72. Ejemplo 20B - Características Generales .....                          | 141 |
| Tabla 73. Ejemplo 20B - Presupuesto Inversión Inicial.....                       | 141 |
| Tabla 74. Ejemplo 20B - Financiación .....                                       | 142 |
| Tabla 75. Ejemplo 20B - Devolución Préstamo.....                                 | 142 |
| Tabla 76. Ejemplo 20B - Amortizaciones.....                                      | 143 |
| Tabla 77. Ejemplo 20B - Datos Proporcionados a PVGIS .....                       | 143 |
| Tabla 78. Ejemplo 20B - Datos de Salida Calculados por PVGIS.....                | 144 |
| Tabla 79. Ejemplo 20B - Datos para el Cálculo de Ahorros.....                    | 144 |
| Tabla 80. Ejemplo 20B - Características Tarifa Contratada .....                  | 145 |
| Tabla 81. Ejemplo 20B - Producción. Autoconsumo y Excedentes.....                | 145 |
| Tabla 82. Ejemplo 20B - Cálculo del Ahorro .....                                 | 146 |
| Tabla 83. Ejemplo 20B - Ahorro Total .....                                       | 146 |
| Tabla 84. Ejemplo 20B - Gastos.....  | 147 |
| Tabla 85. Ejemplo 20B - Cuenta de Resultados.....                                | 148 |
| Tabla 86. Ejemplo 20B - Rentabilidad .....                                       | 149 |

|   |            |
|---|------------|
| <i>Tabla 87. Ejemplo 20B - Pay-Back Descontado .....</i>  | <i>149</i> |
| <i>Tabla 88. Ejemplo 20B - Resultado TIR .....</i>  | <i>149</i> |
| <i>Tabla 89. Resultados Ejemplo 20A .....</i>   | <i>150</i> |
| <i>Tabla 90. Resultados Ejemplo 20B .....</i>   | <i>151</i> |
| <i>Tabla 91. Ejemplo 20B (Paneles Reutilizados) vs Ejemplo 20A (Paneles Nuevos) .</i>                                   | <i>151</i> |
| <i>Tabla 92. Conclusiones - Paneles Reutilizados vs Paneles Nuevos .....</i>  | <i>156</i> |
| <i>Tabla 94. Diferencia económica Panel Reutilizado (B) vs. Panel Nuevo (A) .....</i>                                   | <i>157</i> |
| <i>Tabla 95. Ventajas e Inconvenientes - Paneles Reutilizados vs Paneles Nuevos....</i>                                 | <i>159</i> |
| <i>Tabla 96. Ejemplo 5A-Futuro – Resultados de la Proyección a 20 años del ejemplo 5A.....</i>                          | <i>161</i> |
| <i>Tabla 97. Ejemplo 5B-Futuro - Proyección a 20 años.....</i>  | <i>162</i> |
| <i>Tabla 98. Caso 1-Futuro. Ejemplo 5B-Futuro (Paneles Reutilizados) vs Ejemplo 5A-Futuro (Paneles Nuevos) .....</i>    | <i>163</i> |
| <i>Tabla 99. Ejemplo 20A-Futuro. Proyección a 20 Años del Ejemplo 20A.....</i>  | <i>167</i> |
| <i>Tabla 100. Ejemplo 20B-Futuro. Proyección a 20 años del Ejemplo 20B .....</i>  | <i>168</i> |
| <i>Tabla 101. Caso 2-Futuro. Ejemplo 20B-Futuro (Paneles Reutilizados) vs Ejemplo 20A-Futuro (Paneles Nuevos) .....</i> | <i>168</i> |
| <i>Tabla 102. Conclusiones Futuras- Paneles Reutilizados vs Paneles Nuevos .....</i>                                    | <i>172</i> |

## LISTA DE ECUACIONES

---

|  |            |
|--|------------|
| <i>Ecuación 1. Factor de Forma .....</i>   | <i>17</i>  |
| <i>Ecuación 2. Cálculo de la TRE .....</i>   | <i>31</i>  |
| <i>Ecuación 3. Determinar el fallo de un panel por Pérdida de Potencia (47).....</i>   | <i>62</i>  |
| <i>Ecuación 4. Fórmula para calcular el VAN de una inversión.....</i>                  | <i>88</i>  |
| <i>Ecuación 5. Fórmulas para el cálculo de la TIR de una inversión .....</i>           | <i>90</i>  |
| <i>Ecuación 6. Cálculo de la degradación de panel reutilizado.....</i>                 | <i>111</i> |
| <i>Ecuación 7. Potencia ofrecida por panel reutilizado.....</i>                        | <i>111</i> |
| <i>Ecuación 8. Ejemplo 20B - Cálculo de la degradación del panel reutilizado. ....</i> | <i>140</i> |
| <i>Ecuación 9. Ejemplo 20B - Potencia ofrecida por panel reutilizado.....</i>          | <i>140</i> |

## ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

---

- *FV: Fotovoltaico/a*
- *PV: Photovoltaic*
- *c-Si: Silicio Cristalino*
- *a-Si: Silicio Amorfo*
- *Poly-Si: Silicio Policristalino*
- *CIGS: Aleación de cobre, indio, diseleniuro de galio*
- *PEC: Células Foelectroquímicas*
- *DSSC: Células Solares Orgánicas*
- *TRE: Tasa de Retorno Energético*
- *EROI: Energy Returned on Investment*
- *EPBT: Energy Payback Time*
- *VAN: Valor Actual Neto*
- *TIR: Tasa Interna de Retorno*
- *PEM: Presupuesto de Ejecución Material*

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Antecedentes y Justificación del Proyecto

La energía solar se considera actualmente una forma de obtención energética limpia, respetuosa con el medio ambiente, asequible y renovable.

Estos motivos han hecho que su aprovechamiento durante los últimos años haya sufrido un importante crecimiento y se haya situado como la tercera fuente de generación de energía renovable con más peso en España, por detrás de las energías hidráulica y eólica.

Se distinguen dos tipos de energía solar: térmica y fotovoltaica. La primera de ellas utiliza la radiación solar para producir calor mientras que la energía fotovoltaica aprovecha la luz para la generación eléctrica.

La energía solar fotovoltaica, objeto de este estudio, utiliza paneles o módulos fotovoltaicos para producir electricidad mediante efecto fotoeléctrico.

Los paneles, por ser elementos expuestos a las inclemencias del tiempo, se diseñan y fabrican para poder soportar condiciones meteorológicas adversas.

Se estima que el ciclo de vida útil de un panel fotovoltaico es de 25 años. A partir de entonces, el panel puede continuar su funcionamiento pero su rendimiento se verá reducido debido a la degradación de sus células fotovoltaicas.

Si un panel recibe los cuidados adecuados y no sufre un deterioro debido a una inclemencia meteorológica, su vida útil con un rendimiento alto podría alargarse hasta los 35-40 años.

Debido a la reducción del coste de adquisición de los paneles en los últimos años, en muchas ocasiones resulta más rentable desechar un panel que, por algún motivo, presente un rendimiento inferior al esperado y reemplazarlo por uno nuevo que analizar las causas que producen dicho error.

Una vez desechado el panel se somete a reciclaje. De esta forma, y gracias a la tecnología de la que se dispone actualmente, se recuperan más del 88% de los componentes.

El reciclaje de paneles está reduciendo su coste pero no su sencillez. Los paneles están fabricados con muchos materiales, algunos peligrosos y ensamblados con adhesivos y selladores que dificultan su separación.

El hecho de que las grandes empresas desechen módulos fotovoltaicos por no ofrecer el valor máximo de rendimiento posible sin que estos alcancen el final de su vida útil ni presenten ningún defecto grave, unido a la dificultad del

reciclaje de paneles nos ha llevado a plantear la posibilidad de su reutilización.

Por otra parte, el nuevo Real Decreto 244/2019 (1) pretende estimular la proliferación de instalaciones fotovoltaicas para el autoconsumo a nivel particular en España, además de incorporar al marco jurídico español parte del contenido del artículo 21 de la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo del 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.

Sin embargo, la alta inversión inicial requerida por este tipo de instalaciones limita su construcción a nivel particular. Esta inversión inicial podría verse reducida si la instalación fuera realizada a partir de módulos reutilizados.

El marco legal actual enfocado a potenciar el autoconsumo fotovoltaico y la idea de reutilizar módulos rechazados por grandes plantas fotovoltaicas, en las condiciones ya mencionadas, con el fin de reducir el coste inicial de las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo, son las razones principales que motivan el proyecto.

Este trabajo parte del estudio de la producción de energía solar mediante módulos fotovoltaicos y estudia la posibilidad de ofrecer una segunda vida en pequeñas instalaciones a los paneles que han sido desechados por no ofrecer el valor máximo de rendimiento posible antes de haber completado 15 años de actividad.

## 1.2. Objetivo del Proyecto

El objetivo principal de este proyecto es obtener una respuesta sobre la viabilidad económica de utilizar de nuevo los paneles desechados por grandes empresas de forma que se satisfagan las necesidades de producción energética en pequeñas instalaciones.

El desarrollo del análisis divide el proyecto en subobjetivos:

- Análisis social, económico y legal: Para llegar a conseguir el objetivo principal, resulta necesario estudiar la situación actual de la energía solar fotovoltaica.
- Análisis técnico de fallos: La reutilización de paneles parte del estudio técnico de las causas más comunes que producen la disminución de la eficiencia o afectan a la seguridad del sistema y llevan al descarte del panel.

- Análisis de aptitud: Para decidir si un panel es apto para ser reutilizado se analizan, desde un punto de vista técnico, los módulos fotovoltaicos desechados por las grandes empresas y se establecen criterios de decisión para la reutilización.
- Análisis económico: Teniendo en cuenta los estudios anteriores, se estudian dos casos prácticos de instalaciones sobre los que se analiza la viabilidad económica de la reutilización de paneles.

De la consecución de estos subobjetivos se logrará alcanzar el objetivo principal.

### 1.3. Alcance del Proyecto

Con el fin de cumplir los objetivos definidos, se ha realizado el análisis sobre el tema de estudio a partir de la investigación y recopilación de datos estadísticos a nivel mundial y nacional.

Gracias al apoyo en la bibliografía existente ha sido posible realizar el estudio técnico pormenorizado de los paneles que presentan errores o finalizan su ciclo de vida y son desechados, así como definir los requisitos mínimos de calidad que deben cumplir los paneles para hacer posible su reutilización.

Se ha propuesto una metodología para la decisión de aptitud para la reutilización de paneles y se han analizado los costes económicos derivados de la inspección y evaluación técnica para la recuperación de paneles, transporte y reparación de fallos.

Más adelante, se ha realizado el estudio sobre instalaciones fotovoltaicas de pequeña capacidad para plantear la posibilidad de su construcción mediante el uso de paneles ya utilizados.

Por último, mediante los resultados de los análisis técnicos y económicos anteriores y la comparación entre la utilización de paneles nuevos y de segunda mano, se ha obtenido una respuesta sobre la viabilidad de ofrecer una segunda vida a los módulos fotovoltaicos.

## 1.4. Organización del Proyecto

El proyecto se estructura de la siguiente forma:

### CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En este capítulo se justifica la realización del proyecto, se indican los objetivos finales y se define el alcance.

### CAPÍTULO 2: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

En el segundo capítulo del trabajo se exponen nociones básicas sobre la energía solar fotovoltaica.

Se realiza una descripción de los sistemas fotovoltaicos actuales así como de las células y paneles fotovoltaicos empleados.

Por último, se presentan aspectos técnicos y ambientales de la energía solar fotovoltaica.

### CAPÍTULO 3: ENTORNO SOCIAL, ECONÓMICO Y LEGAL DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

En este capítulo se expone la situación social, económica y legal a escala mundial de la energía solar fotovoltaica.

Se comenta también el desarrollo a nivel europeo y en el territorio nacional de este tipo de energía.

### CAPÍTULO 4: REUTILIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS

En esta cuarta parte del proyecto se da paso al estudio técnico de los paneles fotovoltaicos desechados y las causas y errores que han dado lugar a este rechazo para definir bajo qué condiciones los módulos son susceptibles de poder ser reutilizados.

Se establece un procedimiento para determinar la aptitud de reutilización a partir del análisis de un panel de segunda mano, se indican los requisitos mínimos de calidad exigida y se evalúan los costes de adquisición.

### CAPÍTULO 5: ESTUDIO ECONÓMICO

En este capítulo se explican los aspectos económicos de la instalación fotovoltaica que se estudiarán en este proyecto.

Se definen las condiciones de inversión, financiación y tiempo y se exponen conceptos económicos fundamentales para el análisis de inversiones que

serán considerados para el análisis de viabilidad económica de los casos prácticos del *Capítulo 6*.

#### CAPÍTULO 6: CASOS PRÁCTICOS

El capítulo sexto presenta los ejemplos prácticos de dos pequeñas instalaciones fotovoltaicas compuestas por módulos nuevos y de segunda mano.

Sobre estos modelos se realizan análisis económicos y comparaciones para poder deducir las condiciones de viabilidad de reutilización de paneles.

Más adelante, se exponen las ventajas e inconvenientes de los paneles fotovoltaicos reutilizados frente a los de nueva adquisición.

Por último, se realiza una proyección futura del estudio con el fin de estudiar la viabilidad de prolongar la actividad de las instalaciones de paneles reutilizados.

#### CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

En la última parte del trabajo se presentan las conclusiones obtenidas de la realización de este trabajo.



## 2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

---

La energía solar es aquella obtenida a partir de la radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta) procedente del Sol.

La radiación es aprovechada desde la antigüedad mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando hasta la actualidad.

Hoy en día, se utilizan paneles para la producción de calor y para la generación eléctrica. Estos usos permiten la diferenciación de la energía solar en térmica y fotovoltaica.

La energía solar térmica consiste en la producción de calor mediante la instalación de colectores solares en los que se capta la energía solar aumentando la energía interna del fluido caloportador (generalmente agua o aire) de su interior. Esta energía se transporta para obtener agua caliente sanitaria o para la calefacción de edificios.

Por otra parte, la energía solar fotovoltaica se basa en la transformación de luz solar en electricidad gracias al aprovechamiento del efecto fotovoltaico mediante dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas.

La agrupación de estas células fotovoltaicas da lugar a los paneles (también llamados módulos o placas) fotovoltaicos.

La tecnología de los paneles fotovoltaicos comenzó a desarrollarse en los años 50 y ha sido impulsada y perfeccionada hasta nuestros días.

Los paneles solares son utilizados en centrales para la obtención de suministro eléctrico, en sistemas de autoconsumo, como forma de obtención de electricidad en zonas de difícil acceso, para el bombeo en sistemas de riego, en telecomunicaciones y aeronáutica, para recarga de baterías en vehículos eléctricos, etc.

Desde el comienzo del siglo XXI, el crecimiento de este tipo de energía se ha extendido de forma exponencial en todo el mundo, las aplicaciones de los paneles solares se han multiplicado y los costes de producción y adquisición se han reducido significativamente.

En los apartados de este capítulo se realizará una exposición más extensa sobre la energía solar fotovoltaica. Se explicarán los sistemas fotovoltaicos empleados para la generación eléctrica así como la historia, situación actual y las tendencias futuras del desarrollo a nivel mundial, europeo y nacional.

## 2.1. Sistemas Fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes eléctricos, mecánicos y electrónicos que captan la energía procedente de la radiación solar y la transforman en energía eléctrica utilizable.

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser de dos tipos: aislados o conectados a red.

- Sistemas Aislados: Son aquellos que no están conectados de ninguna forma a la red eléctrica de distribución. La energía se consume en el mismo lugar en que se generó.  
Se utilizan para satisfacer demandas de iluminación y señalización, bombeo agrícola, electrificación doméstica, comunicación, etc. También en lugares remotos en los que no llega la red.  
Comúnmente se utilizan baterías en este tipo de instalaciones para almacenar la energía producida por los paneles cuando no existe demanda inmediata para cuando resulte necesaria.
- Sistemas Conectados a Red: Reciben este nombre las instalaciones que inyectan energía eléctrica a la red de distribución.  
Distinguimos en esta categoría entre centrales fotovoltaicas y sistemas de autoconsumo.  
Las centrales fotovoltaicas vierten a la red el total de la energía producida.  
En los sistemas de autoconsumo se utiliza una parte de la electricidad generada para consumo del productor y otra parte para inyección en la red y obtención así de beneficio económico.

Según el Real Decreto 244/2019 del 5 de abril por el que se regulan las condiciones de autoconsumo en España (1), se distinguen las siguientes modalidades:

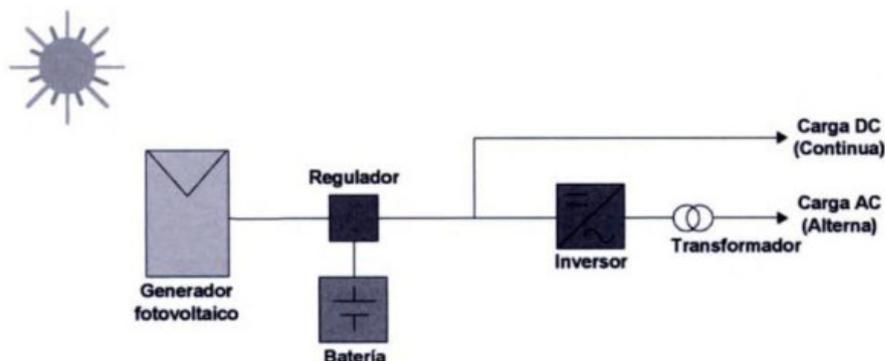
- Autoconsumo SIN excedentes: Existen sistemas que impiden la inyección del excedente de energía a la red.
- Autoconsumo CON excedentes: Se suministra energía para autoconsumo y se inyecta el excedente en la red de distribución. Dentro de las instalaciones de autoconsumo con excedentes se distinguen dos clases:
  - Instalaciones acogidas a compensación: La energía que no se consume de forma instantánea se vierte en la red. Este excedente inyectado a la red se compensa de forma económica al consumidor.

- Instalaciones no acogidas a compensación: La energía no consumida de forma instantánea se vierte a la red y se vende obteniendo el precio de mercado eléctrico.

Una instalación fotovoltaica está compuesta por equipos de producción, regulación, acumulación y transformación de la energía. Dependiendo del tipo de sistema fotovoltaico del que se trate, los componentes pueden variar.

Los elementos básicos de una instalación fotovoltaica son los siguientes:

- Paneles fotovoltaicos: Conjunto de células fotovoltaicas (dispositivos electrónicos, generalmente de silicio cristalino, que transforman la energía debida a la radiación solar en energía eléctrica) conectadas entre sí. Actúan como generadores fotovoltaicos.
- Baterías o acumuladores: almacenan la energía eléctrica producida en los paneles para poder utilizarla en periodos de demanda superior a la capacidad de producción.
- Reguladores: Protegen a la batería de sobretensiones y garantizan el mantenimiento de la carga.
- Inversores: Transforman la corriente continua producida en los paneles en corriente alterna, apta para el consumo o para ser introducida en la red de distribución eléctrica.
- Elementos de protección del circuito: interruptores de desconexión, diodos de bloqueo, etc. Dispuestos entre los elementos mencionados anteriormente con el fin de proteger la descarga y derivación en caso de fallo del sistema o situaciones de sobrecarga.



**Ilustración 1.** Componentes Básicos de un Sistema Fotovoltaico (2)

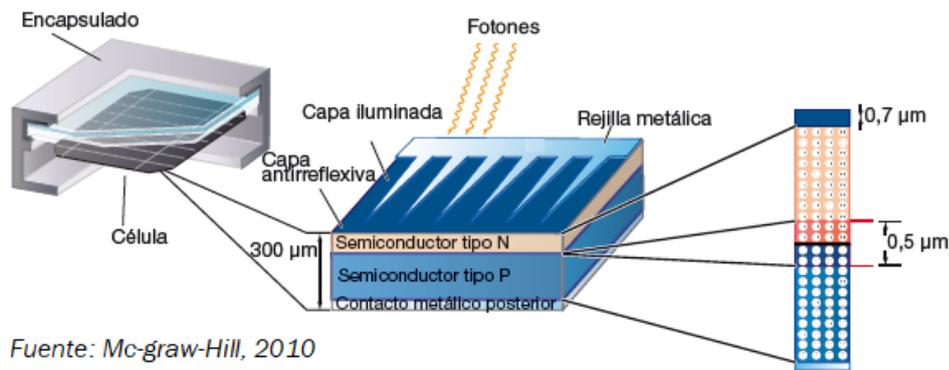
Cada uno de estos componentes utiliza distintas tecnologías dependiendo de los requerimientos y limitaciones de la instalación.

## 2.2. Célula Solar

Una célula o celda solar es un dispositivo electrónico que permite la conversión de los fotones procedentes de la radiación solar en corriente eléctrica mediante efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico se consigue cuando, mediante un medio, se absorben los fotones de la luz solar y se emiten electrones.

Una célula o celda solar está formada por dos láminas delgadas de material semiconductor, generalmente de silicio, que se comportan como un diodo en el que la parte expuesta a la radiación solar se corresponde con la N y la parte opuesta con la P.



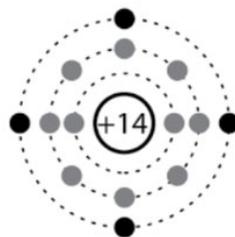
Fuente: Mc-graw-Hill, 2010

**Ilustración 2.** Estructura de una Célula Solar/ Fuente: Mc-graw-Hill, 2010.

### 2.2.1. Funcionamiento de una Célula Solar FV

El funcionamiento de una célula solar FV se explica a partir de una célula de silicio cristalino.

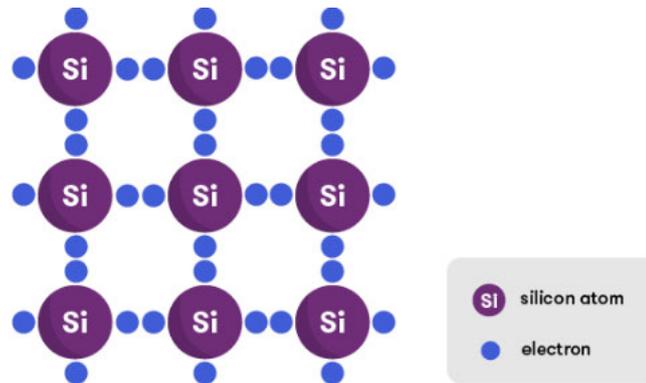
El átomo de silicio dispone de un núcleo y 4 electrones en su última capa.



**Ilustración 3.** Estructura de un Átomo de Silicio  
/Fuente: Hyperphysics, Georgia State University ([hyperphysics.phy-astr.gsu.edu](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu))

Un cristal de silicio está formado por enlaces entre los átomos de silicio. La energía que une a los átomos de valencia con su núcleo es similar a la energía de los fotones que constituyen la luz solar.

Al exponerse a la radiación solar, los fotones de la luz inciden sobre el silicio suministrando la energía necesaria a los electrones de valencia como para que se rompan los enlaces y queden libres.



**Ilustración 4.** Cristal de Silicio / Fuente: science.org.au

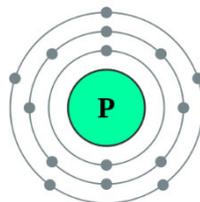
El hueco dejado por la ausencia del electrón liberado tiene carga eléctrica positiva y también se desplace y recombinan con electrones libres.

El trabajo de la célula es provocar que los electrones libres se muevan entre un material semiconductor y otro en busca de un hueco para ocupar. Este movimiento produce una diferencia de potencial que da lugar a una corriente eléctrica.

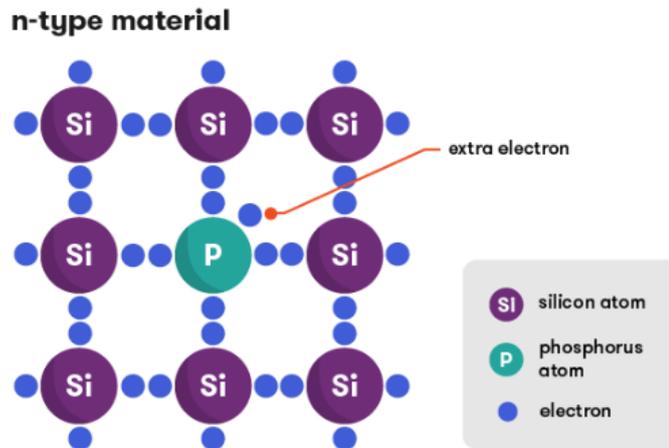
Es decir, se produce un flujo de electricidad de un punto de potencial alto a uno de potencial bajo hasta que se iguale el potencial entre estos dos puntos.

Para conseguir que se produzca este movimiento, es necesario introducir impurezas (átomos) en la estructura del silicio. Este procedimiento se denomina “proceso de dopado” en estado de fusión y utiliza átomos de fósforo y boro.

El fósforo tiene 5 electrones en su capa de valencia (un electrón más que el silicio). Este estructura se define como “semiconductor de tipo N” (negativo).

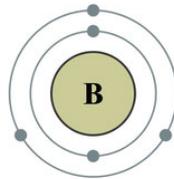


**Ilustración 5.** Estructura Átomo de Fósforo. 5 electrones en su capa de valencia / Fuente: Hyperphysics, Georgia State University (hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)

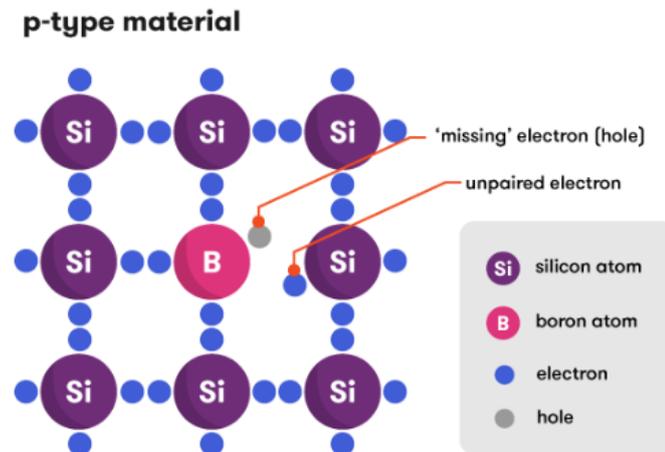


**Ilustración 6.** Estructura del Silicio dopado con Fósforo. Semiconductor de tipo N  
/ Fuente: science.org.au

El boro tiene 3 electrones de valencia (uno menos que el silicio) lo que permite que un átomo de boro pueda unirse con sólo 3 átomos de silicio y dejar un hueco. Esta estructura se denomina “semiconductor de tipo P (positivo)”.

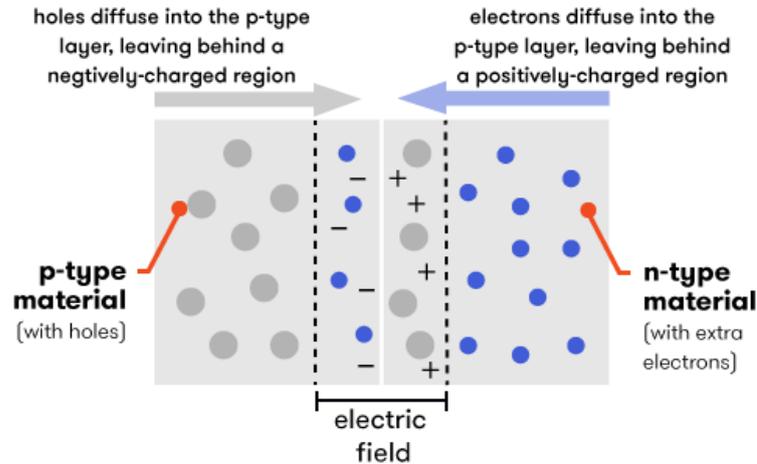


**Ilustración 7.** Estructura Átomo de Boro. 3 electrones en su capa de valencia.  
/ Fuente: Hyperphysics, Georgia State University (hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)



**Ilustración 8.** Estructura del Silicio dopado con Boro. Semiconductor de tipo P  
/ Fuente: science.org.au

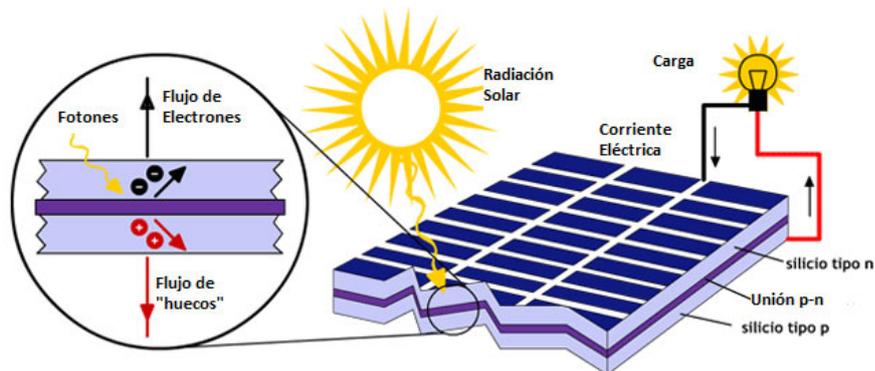
Cuando ambas superficies semiconductoras N y P se disponen adyacentes, debido a la ley de difusión los electrones de la zona N tratan de dirigirse a la zona P. Por lo contrario, los huecos se dirigen de la zona P a la N.



**Ilustración 9.** Campo eléctrico debido a la Difusión de electrones entre semiconductores P y N/ Fuente: science.org.au

La unión de los dos materiales semiconductores, N (emisor) y P (base) produce una diferencia de potencial (zona de carga) entre ambos materiales. De esta forma, los fotones de la radiación solar inciden en la superficie de la célula y transfieren la energía a los electrones de los semiconductores liberándolos así de la red cristalina a la que estaban unidos (electrón-hueco).

En la zona de carga, la diferencia de potencial hace que se produzca un flujo ordenado de portadores minoritarios (electrones y huecos) fotogenerados. Mediante los contactos existentes en la célula, es posible conectar un circuito exterior por el que circulará una corriente eléctrica que podrá entregar potencia útil.



**Ilustración 10.** Esquema del Funcionamiento de una Célula Solar FV/ Fuente: Mr Watt (www.mrwatt.eu)

La eficiencia o rendimiento cuántico de una célula solar indica el número de electrones extraídos de la célula por cada fotón incidente.

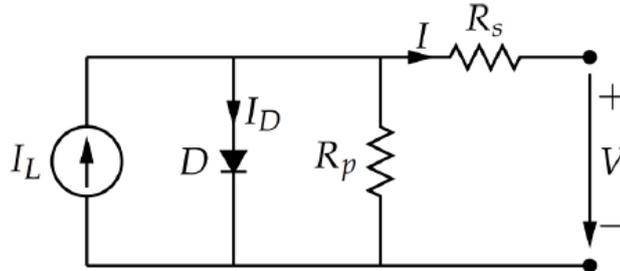
### 2.2.2. Características Físicas y Eléctricas de las Células FV

#### **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:**

- **MATERIAL:** El material más común para la fabricación de células solares FV es el silicio ya que su resistividad es baja y permite disminuir las pérdidas de energía por resistencia.  
La evolución de la tecnología y de la industria fotovoltaica ha llevado a experimentar con nuevos materiales aunque las células de silicio mono y policristalino continúan encabezando los valores de rendimiento obtenido.
- **FORMA:** La forma de las celdas solares suele ser cuadrada para aprovechar mejor la superficie al disponerse en el panel.
- **TAMAÑO:** El tamaño suele ser de 10x10 cm o de 10x15 cm. Algunas marcas fabrican células FV de otras medidas pero la superficie de éstas está generalmente entre 100 y 225 cm<sup>2</sup>.
- **ESPESOR:** Las células de silicio mono y policristalino suelen tener unos 0,3 mm de espesor.
- **COLOR:** El color de la celda depende del material. Las células monocristalinas son azules y homogéneas mientras que las de silicio policristalino se componen de cristales azulados con distintas tonalidades.
- **ÍNDICE DE REFRACCIÓN:** Las células solares tienen índices de refracción muy altos, de entre el 3,5 y el 4,5. El elevado valor de este índice hace que se produzca mucha reflexión y sólo se aproveche entre el 60 y el 70% de la radiación incidente.

**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS:**

- **CIRCUITO EQUIVALENTE:** El circuito eléctrico equivalente para una célula fotovoltaica es el siguiente:



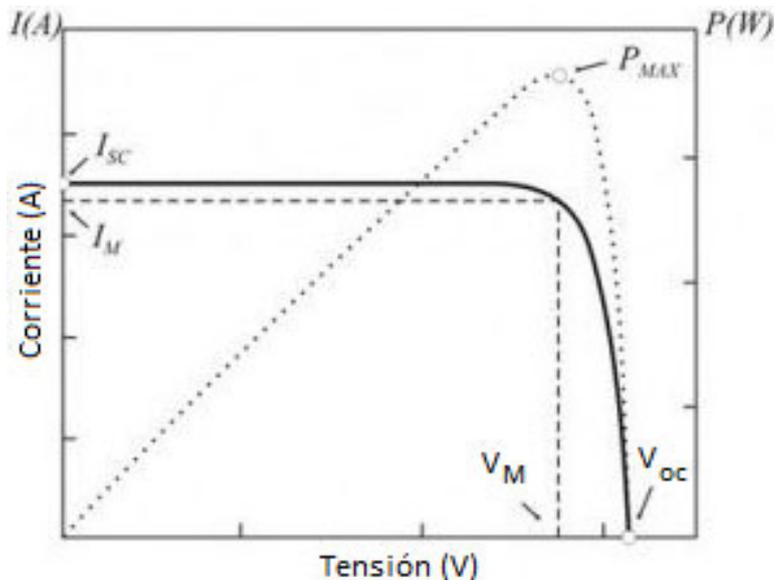
*Ilustración 11. Circuito Equivalente de una Célula Fotovoltaica (2)*

Este circuito está formado por un generador de corriente de portadores que son fotogenerados, un diodo que resulta de la unión de semiconductores y unas resistencias en serie ( $R_s$ ) y en paralelo ( $R_p$ ).

- **CURVA CARACTERÍSTICA I-V:**

El comportamiento de la célula viene determinado por los valores de la curva de tensión-intensidad en bornes para unas condiciones constantes de radiación y temperatura.

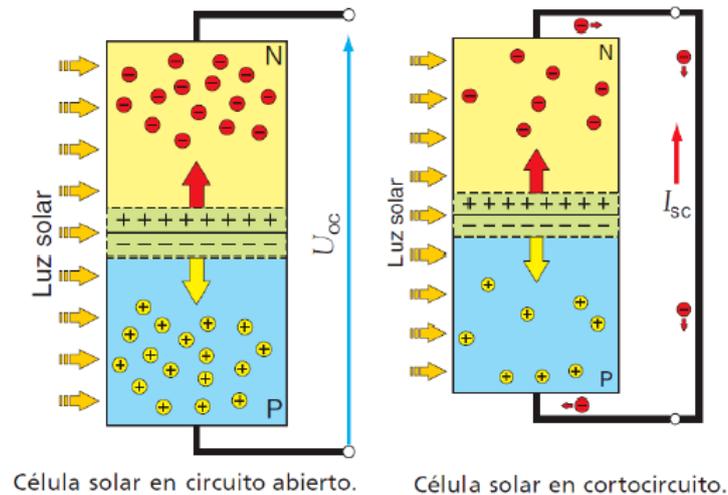
Los valores  $V$  e  $I$  se obtienen variando la resistencia externa desde un valor nulo hasta el infinito.



*Ilustración 12. Curva característica I-V Célula Fotovoltaica (2)*

Esta curva viene definida por los siguientes parámetros:

- Intensidad de cortocircuito ( $I_{sc}$ ): Es el valor de la intensidad máxima de la corriente que puede obtener una célula FV bajo unas determinadas condiciones. Se corresponde con la corriente entre bornes en cortocircuito. Al no existir resistencia al paso de la corriente, la caída de potencial es nula.
- Voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ ): Es el valor máximo del voltaje que se puede medir en condiciones de circuito abierto. La resistencia entre bornes es infinita.



**Ilustración 13.** Funcionamiento Interno de una Célula solar FV en condiciones de Circuito Abierto y de Cortocircuito/ Fuente: Tritec-Intervento

- Potencia máxima ( $P_M$ ): Se consigue cuando el producto de los valores de  $V_M$  e  $I_M$  alcanza un punto máximo.
- Potencia nominal pico: Es la potencia proporcionada por la célula al recibir una irradiación de  $1000 \text{ W/m}^2$  cuando su temperatura es de  $25^\circ\text{C}$ . Estas condiciones están estandarizadas y aceptadas internacionalmente para medir la respuesta fotovoltaica de los módulos.
- Factor de forma (FF, factor de llenado o Fill Factor): Es el cociente de la potencia máxima que se puede entregar a una carga entre el producto de la tensión de circuito abierto y la intensidad de cortocircuito.

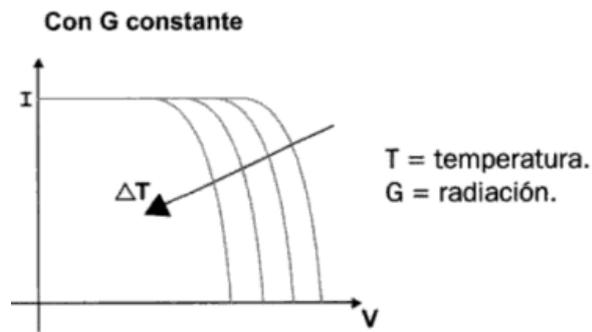
$$FF = \frac{P_{m\acute{a}x}}{V_{OC}I_{SC}} = \frac{V_{PMP}I_{PMP}}{V_{OC}I_{SC}}$$

**Ecuación 1.** Factor de Forma

Indica cuánto se aproxima la curva I-V al rectángulo de lados  $V_{OC}$  e  $I_{SC}$ . Este factor es mejor cuanto más se acerque a la unidad. Para que un FF sea aceptable debe ser mayor de 0,7.

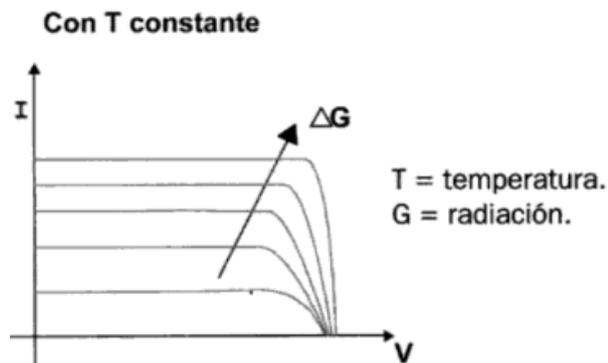
- Otros factores que afectan a la curva característica de las células FV:  
El comportamiento de las células fotovoltaicas puede verse afectado por la temperatura y la radiación.

La tensión varía en función de la temperatura de forma que si la temperatura aumenta la tensión va tomando valores menores mientras que la corriente se mantiene constante.



**Ilustración 14.** Variación Curva Característica-Temperatura (2)

Si se mantiene constante la temperatura pero se varía la radiación, se observa que la corriente va disminuyendo a medida que lo hace la radiación, mientras que la tensión se mantiene constante. (2)



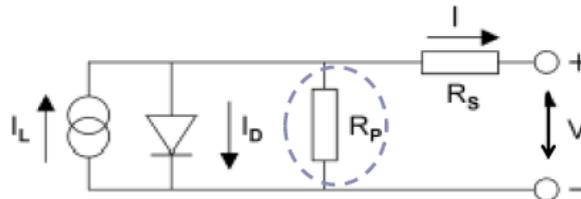
**Ilustración 15.** Variación Curva Característica-Radiación (2)

➤ TEMPERATURA DE OPERACIÓN NOMINAL DE LAS CÉLULAS (TONC):

Indica la temperatura alcanzada por las células fotovoltaicas cuando son sometidas a las siguientes condiciones de operación:

- Irradiancia:  $800 \text{ W/m}^2$  (incidencia normal)
- Distribución espectral: AM 1,5 (superficie terrestre)
- Temperatura ambiente:  $20^\circ\text{C}$
- Velocidad del viento:  $1\text{m/s}$

➤ RESISTENCIA EN PARALELO ( $R_p$ ):

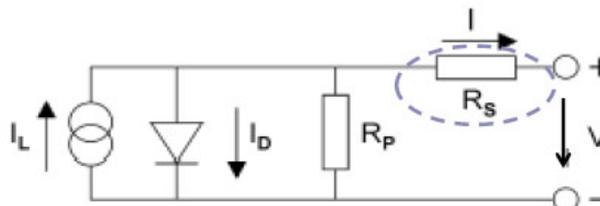


**Ilustración 16.** Resistencia en Paralelo ( $R_p$ ) del circuito eléctrico equivalente de una célula FV (2)

En las células solares se producen pequeñas fugas de corriente debidos a los bordes de la célula, caminos de difusión en dislocaciones o fronteras de grano, pequeños cortocircuitos metálicos, etc.

Su efecto es muy pequeño y su rango normal de valores se sitúa entre 20 y 60 ohm.

➤ RESISTENCIA EN SERIE ( $R_s$ ):



**Ilustración 17.** Resistencia en Serie ( $R_s$ ) del circuito eléctrico equivalente de una célula FV (2)

Es la resistencia debida a los contactos metálicos del semiconductor, a las propias capas de material semiconductor o a la rejilla o malla de metalización frontal.

➤ RENDIMIENTO O EFICIENCIA: Se define como el coeficiente entre la potencia eléctrica máxima que se puede obtener de una célula FV y la potencia luminosa que incide sobre su superficie.

La eficiencia de las células depende del material del que estén compuestas.

### 2.2.3. Generaciones de Células Solares FV

El silicio es el material más utilizado para la fabricación de células solares por las ventajas de sus propiedades y por su abundancia en la corteza terrestre.

La evolución de la tecnología y experimentación con nuevos materiales y sistemas de producción de energía solar fotovoltaica han llevado a definir 4 generaciones de células fotovoltaicas

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>PRIMERA GENERACIÓN</b> | · Obleas de silicio monocristalino (c-Si)  |
| <b>SEGUNDA GENERACIÓN</b> | · Silicio Amorfo (a-Si)  |
|                           | · Silicio policristalino (poly-Si)   |
|                           | · Telururo de Cadmio (CdTe)<br>· Aleación de cobre, indio, diseleniuro de galio (CIGS) |
| <b>TERCERA GENERACIÓN</b> | · Células solares de nanocristales   |
|                           | · Células fotoelectroquímicas (PEC)  |
|                           | · Células Graetzel   |
|                           | · Células solares poliméricas  |
|                           | · Células solares orgánicas (DSSC)   |
| <b>CUARTA GENERACIÓN</b>  | · Híbridas   |
|                           | · Cristales inorgánicos dentro de una matriz polimérica                                |

**Tabla 1.** Generaciones de Células Solares FV (3)

A continuación se muestra una gráfica de la evolución de la eficiencia de las tecnologías de células solares más empleadas en la actualidad (primera y segunda generación):

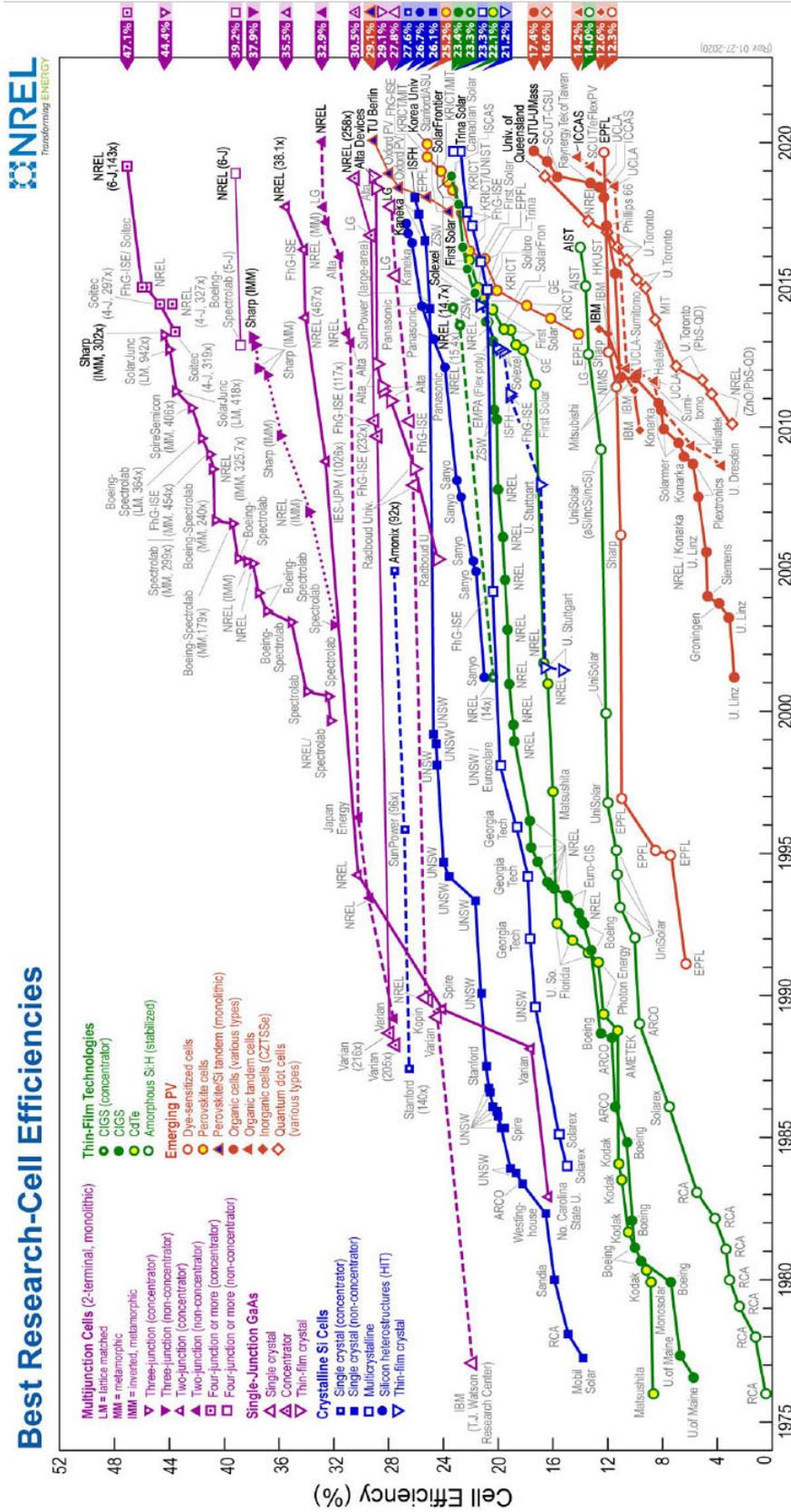


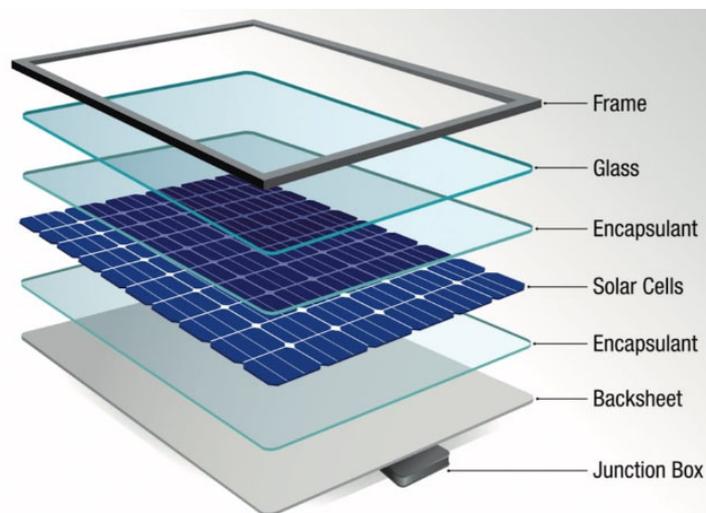
Ilustración 18 Comparación de la Eficiencia de las Células Fotovoltaicas (27-01-2020) (4)

### 2.3. Panel Fotovoltaico

Un panel o módulo fotovoltaico se compone por un conjunto de células conectadas convenientemente de forma que reúnan las condiciones que los hagan compatibles con las necesidades y equipos existentes en el mercado. (2).

Al disponer las células en forma de paneles se consigue resistencia mecánica, protección contra los agentes ambientales externos y aislamiento eléctrico para garantizar la durabilidad y seguridad del módulo. Además, se favorece la máxima captación solar y se evacúa el calor para mejorar la eficiencia.

Un panel fotovoltaico se compone por varias capas que recubren y protegen a las células tanto en la parte superior como en la inferior.



**Ilustración 19.** Partes de un Panel Solar FV (5)

De superficie a interior tiene las siguientes capas:

- Cubierta exterior: formada por un marco (frame) y un cristal (glass) de vidrio templado por ser resistente y buen transmisor de la radiación solar.
- Encapsulante anterior: Protege a las células y contactos de interconexión frente a golpes, vibraciones o deformaciones. El material de esta capa es silicona, EVA, polivinilo butiral, etc.
- Conjunto de células fotovoltaicas
- Encapsulante posterior: Misma función y material que encapsulante anterior.
- Protector posterior: Sirve de barrera contra la humedad. El material es acrílico, silicona o EVA.
- Caja de contactos eléctricos de salida: Extraen la energía generada en el conjunto de células y permiten la conexión entre paneles.

### 2.3.1. Tipos de Paneles FV

Los paneles solares fotovoltaicos se clasifican en función del tipo de células que los componen.

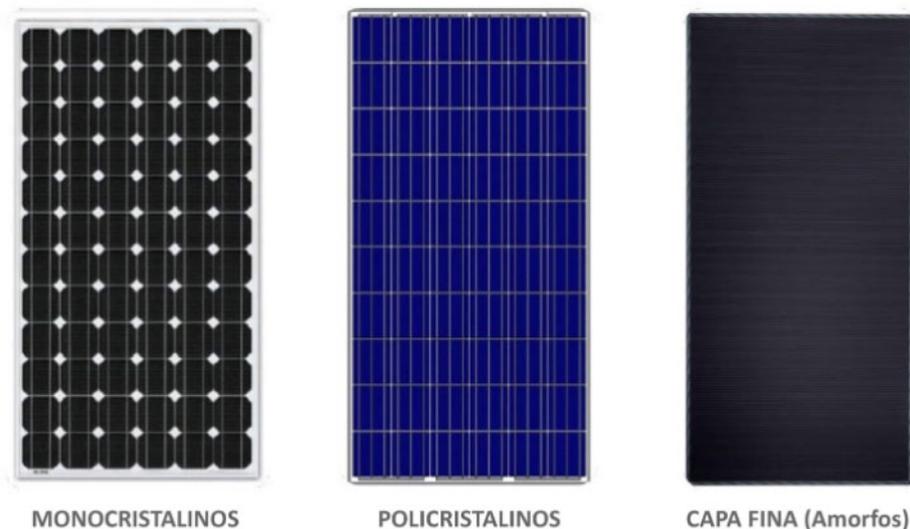
Los paneles más comunes actualmente, por tener mayor rendimiento, son los siguientes:

- Paneles monocristalinos: Se componen por células monocristalinas de silicio. Son el tipo de panel que mayor eficiencia permite obtener. Suelen comercializarse como unidades con potencias de 5 a 330 W.
- Paneles policristalinos: Están formados por células fotovoltaicas policristalinas. La producción de este tipo de paneles es menos costosa que la de los módulos monocristalinos pero su eficiencia es inferior.
- Paneles de capa fina: Este tipo de paneles, pueden estar compuestos por células de silicio amorfo (a-Si), de telururo de cadmio (CdTe), de cobre, indio, galio y selenio (CIGS) o células fotovoltaicas orgánicas (OPC).

Los paneles de capa delgada no consisten en la unión de células individuales, sino en una lámina en la que se pueden observar unas tiras que separan las células que han sido conectadas durante la elaboración del módulo.

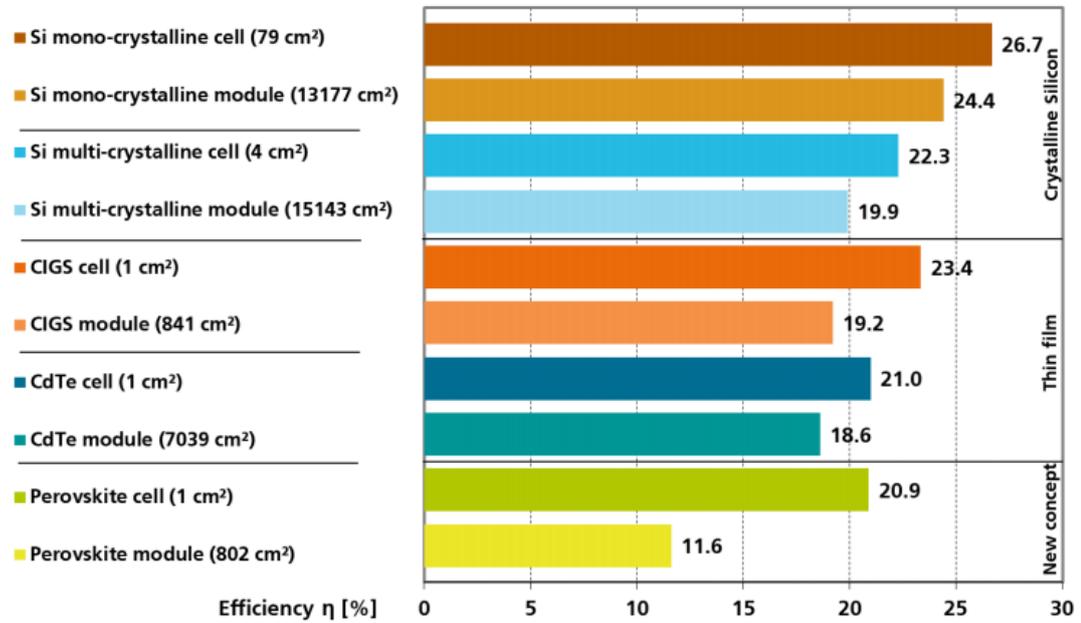
La fabricación de estos paneles es muy inferior a los anteriores en cuanto a coste y gasto energético.

Son menos habituales que los dos tipos anteriores por ofrecer un rendimiento más bajo.



*Ilustración 20. Tipos de Paneles Solares FV/ Fuente: Tritec-Intervento*

En la siguiente gráfica se muestra una comparación de la eficiencia obtenida entre las distintas tecnologías así como entre las células y módulos de cada tipo:



*Ilustración 21. Comparación de la Eficiencia de las Tecnologías Fotovoltaicas (6)*

### 2.3.2. Características Físicas y Eléctricas de los Paneles FV

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

- FORMA: Los paneles FV por lo general suelen tener forma rectangular.
- TAMAÑO: Áreas de entre 0,06 m<sup>2</sup> (5Wp) hasta 2,5 m<sup>2</sup> (330 Wp).
- ESPESOR: El grosor total (sin incluir el marco) no suele ser superior a 3 cm.
- PESO: Son relativamente ligeros. (Un panel de 0,8 m<sup>2</sup> pesa unos 8 kg)
- RIGIDEZ: Son rígidos en apariencia aunque son capaces de soportar ligeras deformaciones.

**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS:**

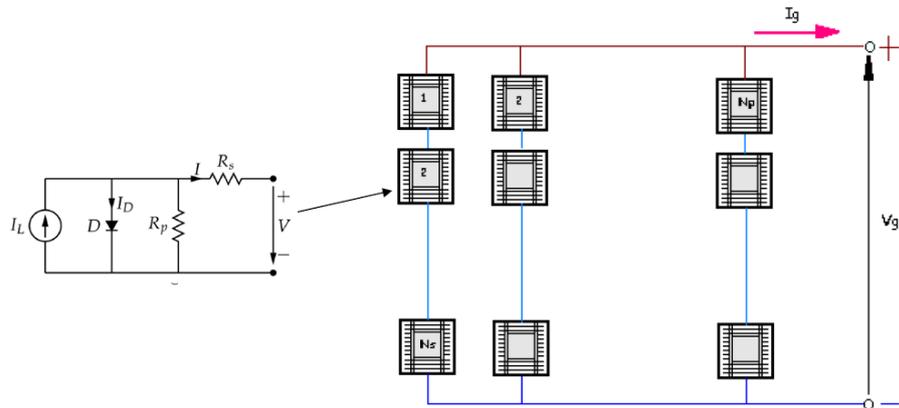
➤ **CARACTERÍSTICAS GENERALES:**

Por lo general, cada célula solar genera un voltaje de entre 0,5-0,6 V y una intensidad de corriente de entre 2.5-3 A.

Las potencias de los paneles varían entre 5 y 330 Wp.

Para un sistema de 12 V se necesitan entre 30 y 40 células.

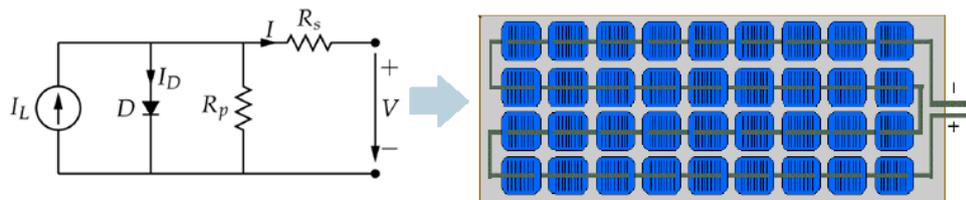
➤ **CIRCUITO EQUIVALENTE:** En un módulo fotovoltaico el circuito equivalente es el resultado de una asociación serie/paralelo entre células de la siguiente forma:



**Ilustración 22.** Asociación serie/paralelo entre células

/Fuente: [www.cemaer.org](http://www.cemaer.org)

En la siguiente imagen se muestra la configuración típica de un módulo de 12 V formado por 36 células en serie:



**Ilustración 23.** Configuración módulo de 36 células en serie

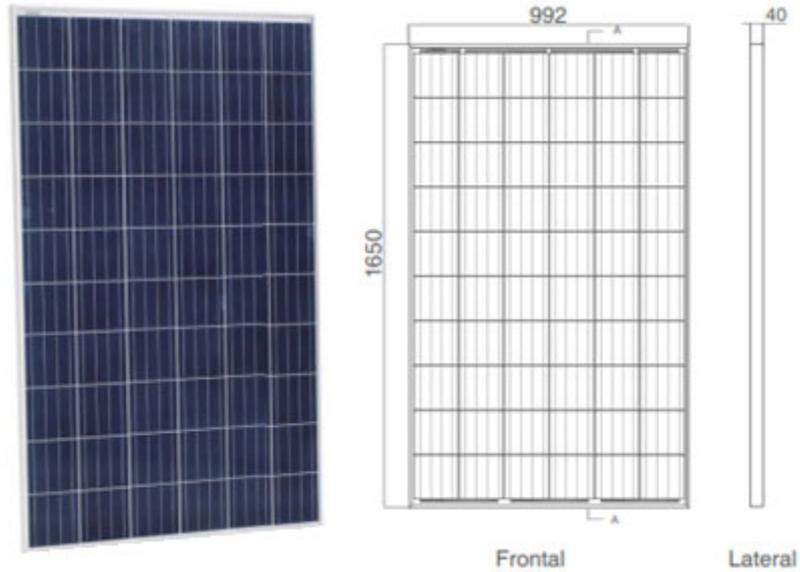
/Fuente: [www.cemaer.org](http://www.cemaer.org)

Las tensiones de trabajo dependen del número de células del panel. Las tensiones típicas son 12, 24 y 36 V.

Los paneles fotovoltaicos de 12V compuestos por 36 células se utilizan normalmente en instalaciones aisladas de muy bajo consumo.

Los paneles de 24V formados por 72 células fotovoltaicas se utilizan para todo tipo de usos y ofrecen potencias superiores a los 300Wp.

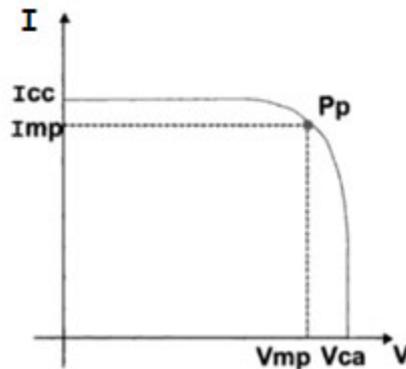
Actualmente, es común en instalaciones conectadas a red el uso de paneles de 60 células fotovoltaicas conectadas en 6 filas de 10 células cada una y su potencia suele estar entre 240 y 265W.



**Ilustración 24.** Ejemplo de Módulo FV Policristalino de 60 células, 30V y 265W (JKM265P-60, JinkoSolar)

La elección del panel fotovoltaico se realiza en función de la potencia total necesaria. Si se requiere una potencia baja se utilizan módulos de 36 o 72 células (12 y 24 V respectivamente). Para potencias superiores se utilizan módulos de 60 células y tensión de 30V

- **CURVA CARACTERÍSTICA:** Tiene la misma forma que la de las células y, por lo tanto, sufrirá los mismos efectos con la variaciones de radiación y temperatura.



**Ilustración 25.** Forma Curva Característica I-V de un Panel FV (2)

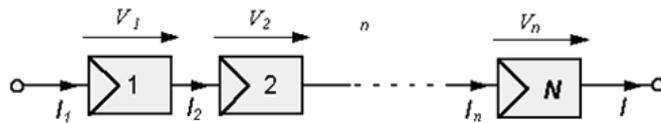
➤ DIODOS DE BYPASS Y DE BLOQUEO:

Las instalaciones fotovoltaicas pueden realizarse mediante un único panel o conectando un conjunto de ellos.

Los paneles se conectan entre sí mediante conexiones eléctricas y de forma mecánica mediante soportes.

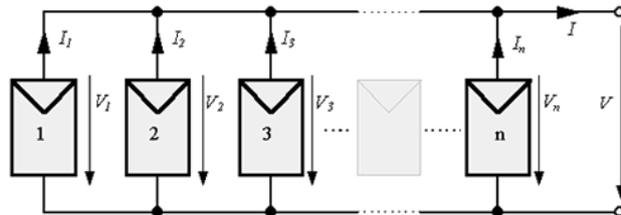
La conexión de paneles puede ser de tres tipos:

- Conexión en serie: Aumenta la tensión



**Ilustración 26.** Conexión de Paneles FV en Serie (7)

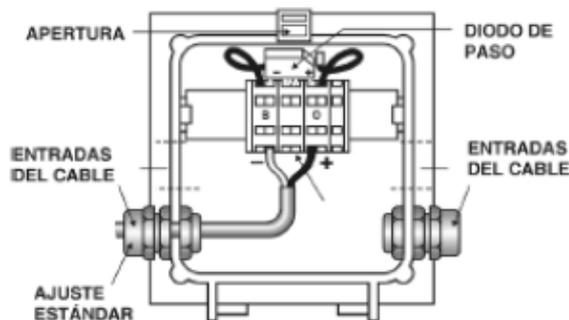
- Conexión en paralelo: Aumenta la intensidad



**Ilustración 27.** Conexión de Paneles FV en Paralelo (7)

- Combinando ambas combinaciones hasta lograr los valores de tensión e intensidad deseados.

En la parte posterior de los módulos se encuentra la caja de conexiones:



**Ilustración 28.** Caja de Conexiones de un Módulo FV (7)

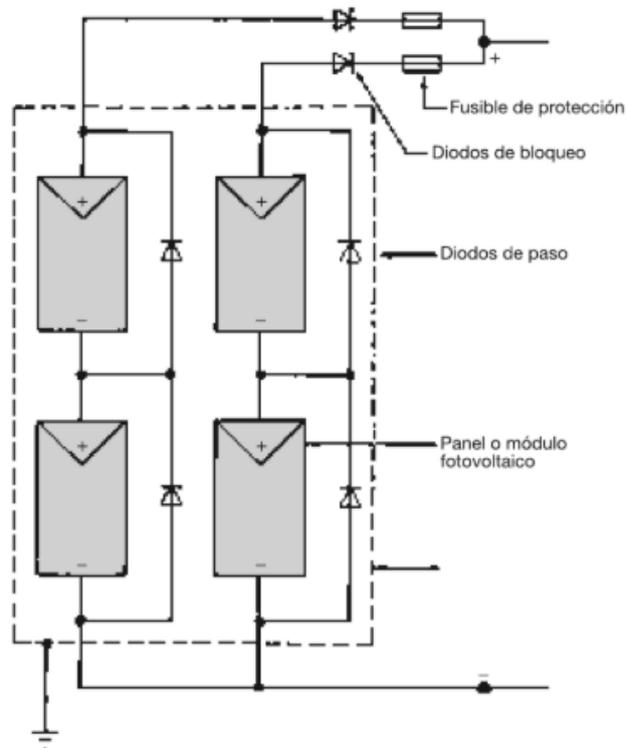
En esta caja se ubican las entradas de cables de conexión y el diodo de paso (o de bypass). Este diodo tiene la función de proteger a los paneles y evitar los efectos que se producen por las sombras o los puntos calientes (zonas del panel en las que se producen pérdidas y hacen que algunas células se comporten como resistencias) que afectan de forma negativa a la eficiencia.

Los diodos de bypass ofrecen un camino alternativo a la corriente para que circule a través de ellos cuando en el circuito existe una célula que no recibe radiación y actúa como disipador de potencia.

En condiciones normales de operación, los diodos no conducen la corriente pero si existe un punto caliente o células sombreadas, el diodo se polariza y se comporta como conductor.

En la práctica, resulta muy caro instalar un diodo por célula. Por este motivo, los diodos se colocan en paralelo con los grupos de células dentro de cada módulo.

Los diodos de bloqueo se colocan en serie con cada elemento y evitan que se disipe la energía de los módulos o de las baterías si existe un defecto eléctrico.



**Ilustración 29.** Esquema de instalación de diodos de Bypass y de bloqueo a Paneles FV (8)

## 2.4. Fabricación de Células y Paneles Fotovoltaicos

Actualmente, existen muchos tipos de células fotovoltaicas aunque las celdas de silicio mono y policristalino continúan siendo las más comunes por sus propiedades, abundancia en la naturaleza y por ofrecer rendimientos superiores a los obtenidos con otros materiales.

A continuación se explicará la fabricación de células de silicio y de paneles fotovoltaicos a partir de ellas.

### **FABRICACIÓN DE CÉLULAS DE SILICIO (MONOCRISTALINO, POLICRISTALINO Y AMORFO):**

Los fabricantes de células fotovoltaicas de silicio compran el silicio de grado solar en forma de lingotes cilíndricos y los cortan en forma de obleas de pequeño espesor.

Sobre estas obleas se realizan distintos procesos químicos, físicos y mecánicos hasta la obtención final de células solares.

### **FABRICACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS:**

La fabricación de paneles consta de varias etapas:

- Interconexionado de células: Las células se conectan en serie para conseguir una tensión normalizada.
- Laminación: Se colocan las distintas capas de las que se compone un panel (cristal, encapsulantes anterior y posterior, etc) y se introduce en un horno específico para ello.
- Enmarcación: Se enmarca el conjunto con perfiles de aluminio provistos de las perforaciones necesarias para el montaje
- Conexiones externas: Se colocan las conexiones eléctricas externas para su posterior instalación.



*Ilustración 30. Evolución de la Fabricación de un Panel Fotovoltaico / Fuente: solarinnova.net*

## 2.5. Vida Útil de los Paneles Fotovoltaicos

La mayoría de paneles fotovoltaicos ofrecen garantías de vida de 25 años. Los fabricantes aseguran que producirán al menos el 80% de la potencia nominal indicada después de ese periodo.

Sin embargo, el paso del tiempo y de la exposición producen la degradación de las células que forman los paneles.

El valor medio estimado de degradación anual de un panel es del 0,5% según NREL, aunque este valor varía dependiendo del tipo de tecnología empleada.

A continuación se presentan los datos de degradación para cada tecnología fotovoltaica. Las etiquetas “pre” y “post” corresponden a las instalaciones anteriores y posteriores al año 2000 respectivamente.

| TIPO CÉLULA                              | PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN (% ANUAL) |      |
|--|---------------------------------|------|
|  | PRE                             | POST |
| Silicio monocristalino (a-Si)            | 0,47                            | 0,36 |
| Silicio policristalino (poli-Si)         | 0,61                            | 0,64 |
| Silicio amorfo (a-Si)                    | 0,96                            | 0,87 |
| Telururo de Cadmio (CdTe)                | 3,33                            | 0,4  |
| Seleniuro de Galio, Indio y Cobre (CIGS) | 1,44                            | 0,96 |

**Tabla 2.** Porcentaje anual de Degradación en función del Tipo de Tecnología (9)

Para estimar la vida útil de un panel solar se debe analizar la degradación de sus células. Si éstas han sido expuestas a condiciones climatológicas extremas su tasa de degradación será alta.

Los módulos instalados en lugares con clima muy frío, sometidos a viento, cargas de nieve o zonas desérticas pueden presentar degradaciones del 1% anual.

Por otra parte, los paneles instalados en climas moderados pueden tener índices de degradación muy bajos (aproximadamente del 0.2% anual).

Esto significa que un panel bajo condiciones moderadas que ha recibido un mantenimiento y limpieza regular, podría tener un rendimiento del 96% pasados 20 años de su instalación, lo que haría que su vida útil se pudiese alargar hasta los 30-40 años de uso.

## 2.6. Reciclaje de Paneles Fotovoltaicos

De acuerdo con lo expuesto en el *Apartado 2.5*, el tiempo de vida medio estimado para un panel es de 25 años.

Considerando que la explotación de la energía solar fotovoltaica comenzó su etapa de mayor crecimiento a comienzo de la década de los 2000, los primeros paneles que salieron al mercado están finalizando ya su vida útil y se espera que durante los próximos años esta cantidad de paneles aumente.

Por este motivo, aunque el volumen de paneles que han llegado al final de su vida útil es todavía reducido, la industria debe aceptar con antelación la responsabilidad de la generación futura de paneles desechados.

En la actualidad, en la mayoría de países del mundo se consideran este tipo de desechos como basura industrial. EEUU y Japón disponen de normas que afectan a los paneles en lo referente a procesos de tratamiento por contenido de material peligroso.

Tan solo la Unión Europea ha adoptado regulaciones para el reciclaje de estos componentes. Esta regulación se encuentra en el Artículo 13 de la Directiva 2002/96/CE de Residuos procedentes de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). (10)

El reciclaje fotovoltaico es esencial para que este tipo de energía sea sostenible. Los objetivos del reciclado son:

- Reducir el volumen de paneles desechados
- Aprovechar componentes valiosos
- Evitar la pérdida de materiales potencialmente reutilizables
- Favorecer el cierre del ciclo de vida de los paneles
- Obtener un beneficio económico y medioambiental

Existen dos métodos básicos de reciclaje en función de si el panel está compuesto de células de silicio o de película delgada. En este proyecto nos centraremos en el primer caso por tener un porcentaje de uso mucho más elevado en la actualidad.

Para el reciclaje de paneles basados en silicio, se comienza por el desmontaje mecánico de las piezas de aluminio y vidrio del marco y encapsulado. El 95% de estas partes pueden reutilizarse.

El resto de los materiales del panel se tratan en unidades térmicas a 500°C. La finalidad de esta técnica es que el plástico del encapsulante se evapore y se obtengan las células libres para tratamientos posteriores.

Después de este tratamiento, las obleas de silicio se funden para usarse en la fabricación de nuevos módulos.

El resultado de este proceso ofrece una tasa de reciclaje del 85%.

## 2.7. Tasa de Retorno Energético y Tiempo de Amortización Energética

La tasa de retorno energético (TRE), también conocida como EROI (Energy Returned on Investment), se define como el cociente entre la energía obtenida y la utilizada para obtenerla. Es decir, relaciona la cantidad total de la energía que se produce desde una fuente energética con la cantidad de energía que es necesario aportar para la explotación de dicha fuente.

$$TRE = \frac{E_{obtenida}}{E_{invertida}}$$

### ***Ecuación 2. Cálculo de la TRE***

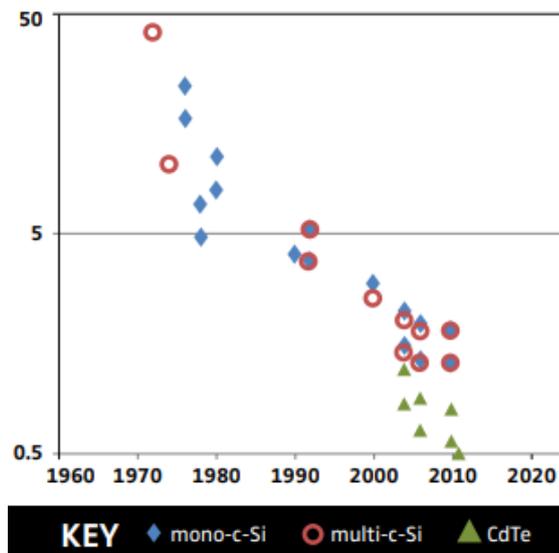
Si la TRE de una fuente de energía es inferior a 1, la energía obtenida es menor que la invertida y, por lo tanto, la fuente no resulta rentable.

Si por lo contrario, el resultado es superior a 1, la fuente es rentable en términos energéticos y produce más energía de la que consume. Una fuente de energía es mejor energéticamente cuanto mayor sea su TRE.

Las energías obtenidas a partir de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) tienen tasas de retorno energético medias superiores a 25:1 mientras que las fuentes de energía renovables tienen TRE inferiores, del orden de 10:1.

El tiempo de amortización energético (conocido como EPBT, Energy Payback Time) se define como el tiempo necesario para que un sistema sea capaz de generar tanta energía como ha sido empleada para su fabricación. Es decir, es el tiempo en el que se recupera la energía invertida para el aprovechamiento energético.

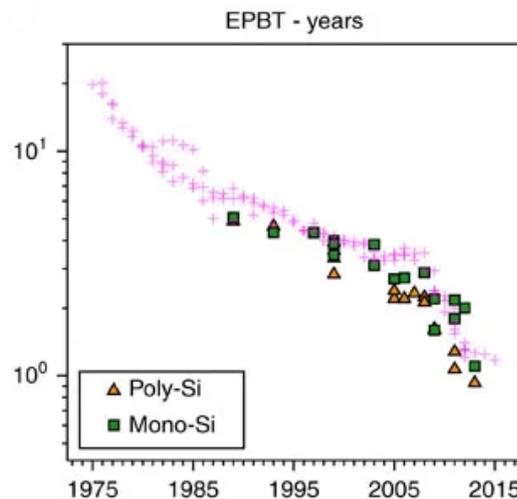
Para los sistemas fotovoltaicos, el tiempo de recuperación energético se redujo de 40 a 0,5 años entre 1970 y 2010. Esto quiere decir que necesitan 6 meses para recuperar la misma cantidad de energía que fue empleada para producir el sistema.



**Ilustración 31.** Evolución del EPBT de los Sistemas Fotovoltaicos entre 1970 y 2010 por tipos de tecnología (11)

Como se puede apreciar en la imagen, los valores de EPBT más bajos son registrados para los paneles de Telururo de Cadmio.

Para los paneles de silicio mono y policristalino el tiempo de recuperación energética para el año 2015 era de aproximadamente un año.



**Ilustración 32.** Evolución del EPBT para paneles de Silicio Mono y Policristalino entre 1975-2015 (12)

En general, los sistemas basados en Telururo de Cadmio tienen mayor EROI y un EPBT más corto, mientras que las tecnologías basadas en silicio presentan EROI más bajos y EPBT más largos.

En la siguiente tabla se muestran los datos recopilados por la ETIP (European Technology & Innovation Platform) en un informe realizado en Septiembre de

2018 para los rangos estimados de EROI y EPBT medios de las tecnologías fotovoltaicas (tanto basados en silicio como de película delgada) en función de las zonas de radiación en Europa. Los rangos entre paréntesis indican las estimaciones futuras.

| Zona   | Radiación                      | EROI             | EPBT (Años)      |
|--|--------------------------------|------------------|------------------|
| Regiones de Radiación Alta<br>(Sur de Europa)          | 1700 kWh/(m <sup>2</sup> *año) | 10-40<br>[30-60] | 0,7-3<br>[0,5-1] |
| Regiones de Radiación Moderada<br>(Noroeste de Europa) | 1100 kWh/(m <sup>2</sup> *año) | 7-25<br>[20-40]  | 1-4<br>[0,8-1,5] |

**Ilustración 33. Rangos Estimados de EROI y EPBT (2018) (13)**

## 2.8. Huella Ambiental

Se define huella ambiental como la medida del impacto ambiental que genera un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida.

La huella ambiental se calcula aplicando la “Recomendación de la comisión Europea” del 9 de abril del 2013 sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida. (14)

El análisis de la huella ambiental del sistema proporciona un marco útil para identificar los puntos críticos en el ciclo de vida.

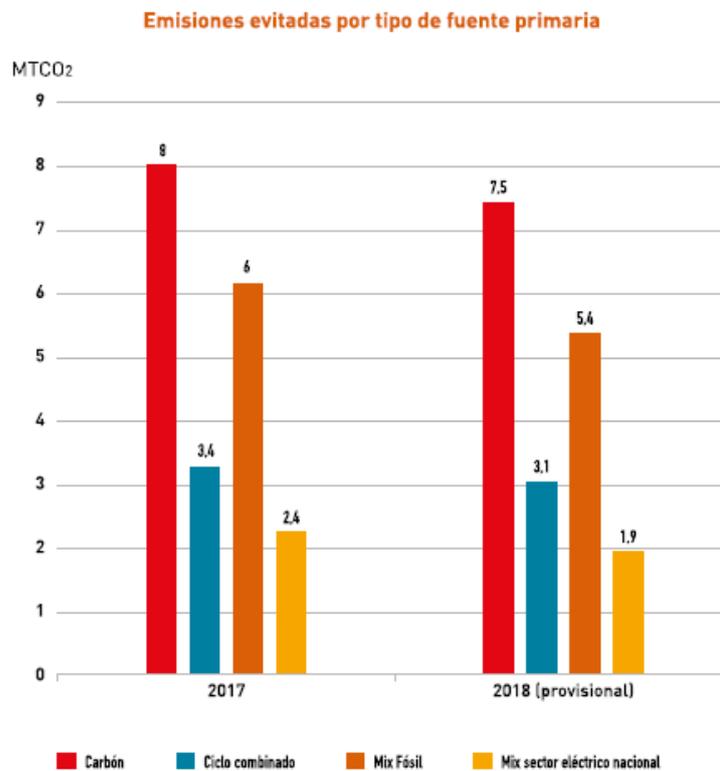
Este cálculo consiste en un análisis de potenciales impactos ambientales que se generan directa o indirectamente. Se trata del estudio de 16 impactos ambientales:

1. Cambio Climático
2. Destrucción de la capa de Ozono
3. Toxicidad humana con efectos cancerígenos
4. Toxicidad humana sin efectos cancerígenos
5. Partículas y aspectos respiratorios
6. Radiación ionizante (efectos sobre la salud humana)
7. Radiación ionizante (ecosistema)
8. Formación de ozono fotoquímico
9. Acidificación
10. Eutrofización terrestre
11. Eutrofización agua dulce
12. Eutrofización marina
13. Ecotoxicidad en medio acuático
14. Uso del suelo
15. Consumo de recursos – Agua
16. Consumo de recursos – Minerales y combustibles fósiles

De acuerdo a esta recomendación de la Comisión Europea, el impacto medioambiental de la electricidad generada mediante sistemas fotovoltaicos instalados en Europa se deben evaluar en base a las normas recogidas en el conjunto PEFCRs (Product Environmental Footprint Category Rules). (15)

La huella ambiental del sector fotovoltaico es, teniendo en cuenta la huella directa e indirecta, de 1406 ktCO<sub>2</sub>. Este valor no es elevado si se compara con la emisión evitada al poder prescindir de fuentes no renovables. Si, por ejemplo, los GWh fotovoltaicos fueran producidos mediante la combustión directa de gas en centrales de ciclo combinado, las emisiones se incrementarían hasta 3.1 MTCO<sub>2</sub>.

Las emisiones evitadas por la generación fotovoltaica oscilan entre 1.9 y 7.5 MTCO<sub>2</sub> dependiendo de la fuente no renovable por la que fuera sustituida:



**Ilustración 34. Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas en función del tipo de fuente (16)**

### 3. ENTORNO SOCIAL, ECONÓMICO Y LEGAL DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica mediante efecto fotovoltaico.

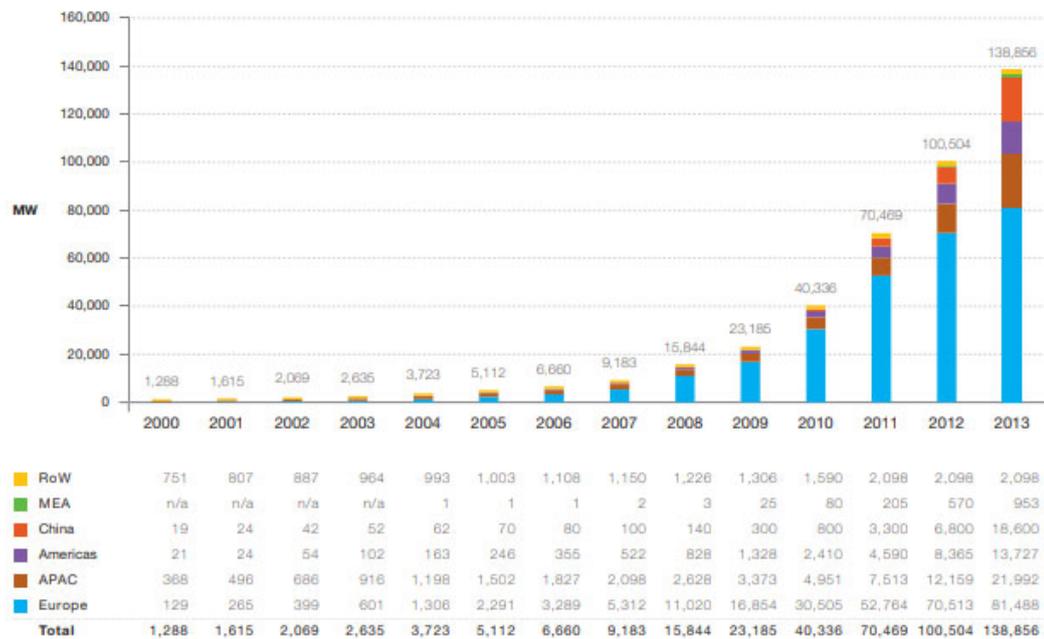
El efecto fotovoltaico consiste en la transformación de energía solar en energía eléctrica a través de un material que absorbe los fotones de la fuente lumínica y emite electrones que se desplazan intercambiando posiciones y recombinándose de forma que producen una corriente eléctrica.

El descubrimiento del efecto fotovoltaico se atribuye al físico francés Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891).

Más tarde, en el año 1920, Albert Einstein proporcionó la explicación del efecto fotovoltaico por la que un año después recibió el Premio Nobel de la Física.

Los avances de esta tecnología hicieron posible que los elementos solares fotovoltaicos fueran empleados en aplicaciones espaciales y favorecieron el desarrollo de las telecomunicaciones.

Desde el año 2000, la industria fotovoltaica ha sufrido un crecimiento exponencial y global. En la gráfica se muestran los valores de potencia instalada (en MW) por países para el rango de años entre 2000 y 2013:



*Ilustración 35. Evolución Global de la capacidad PV instalada 2000-2013. (17)*

En cuanto a la distribución a nivel mundial de la producción de energía solar fotovoltaica, destaca EEUU hasta el año 1996. En ese año fue superado por Japón que mantuvo el liderazgo hasta el año 2005.

Entre los años 2005 y 2016 Alemania construyó algunas de las plantas solares más grandes del mundo y se estableció como un importante consumidor de este tipo de energía.

En el año 2016, China superó a Alemania y actualmente continúa liderando el mercado y experimentando un crecimiento muy elevado en cuanto a producción de energía solar fotovoltaica.

Actualmente, las instalaciones fotovoltaicas han continuado construyéndose en todo el mundo y se pronostican fuertes tendencias de expansión para las próximas décadas.

Las causas de este crecimiento de la capacidad instalada a nivel mundial se deben a la reducción del coste de los paneles, a factores políticos y sociales relacionados con el cambio climático y la emisión de carbono y a las mejoras de la tecnología fotovoltaica que han permitido que este tipo de energía haya adquirido una posición competitiva con respecto a las fuentes de energía basadas en combustibles fósiles como el carbón y el gas.

Estas causas, unidas a la apuesta por las energías renovables y el cambio de la mentalidad de la sociedad enfocada al desarrollo sostenible, llevan a que en los próximos años las previsiones muestren tendencias claras de alta explotación de la energía solar fotovoltaica, tanto en centrales de generación eléctrica como en instalaciones de autoconsumo.

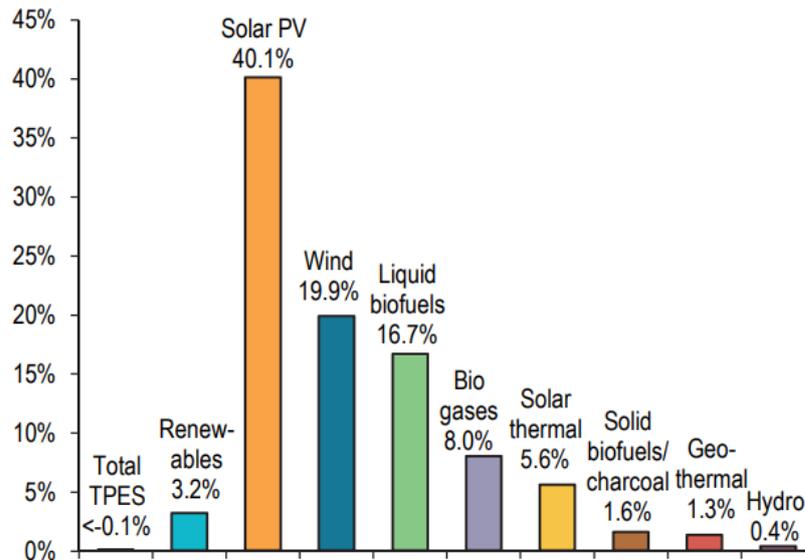
### 3.1. Actualidad y Tendencias Futuras

#### 3.1.1. Expansión

El ritmo de desarrollo de las energías renovables está siendo a nivel global, significativo y muy superior al previsto por los expertos.

La energía solar fotovoltaica se ha situado como la energía renovable con mayor crecimiento promedio entre los años 2000 y 2018.

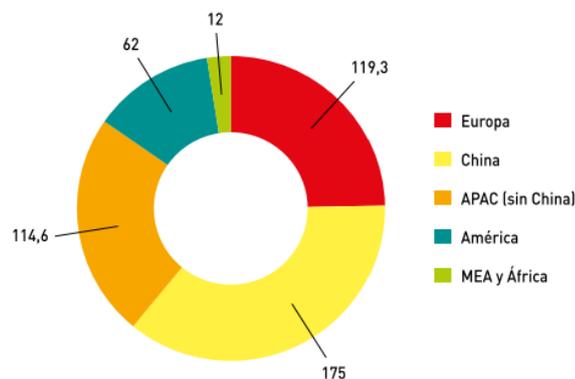
En la siguiente gráfica se muestra el porcentaje de crecimiento de cada tipo de energía renovable entre los años 2000 y 2018:



**Ilustración 36.** Tasas de Crecimiento anual promedio de la producción de electricidad en la OCDE, 2000-2018 (18)

La potencia fotovoltaica instalada a nivel mundial para el año 2018 se estimó en los 94,2 GW según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), esto supone un 4,25% sobre la capacidad total instalada de las energías renovables en ese mismo año (2351 GW totales). (19)

Además, en ese mismo año (2018), la potencia mundial acumulada instalada alcanzó los 480 GW:

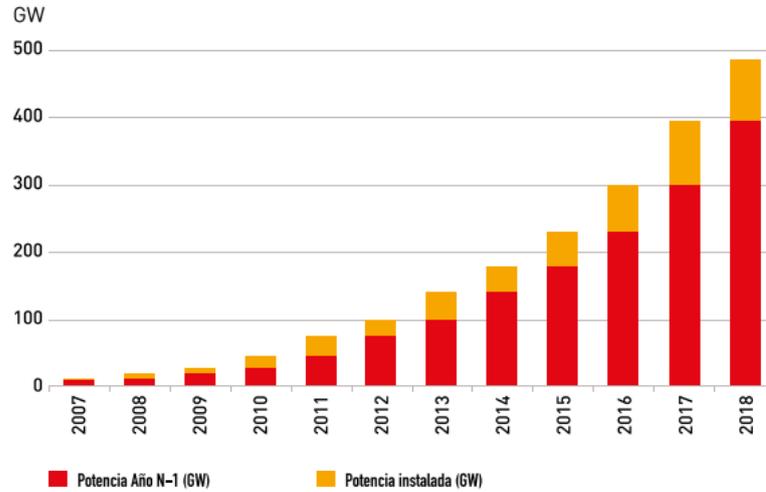


**Ilustración 37.** Potencia PV instalada acumulada mundial (en GW) en el 2018 (16)

| 2018             |              |             |
|------------------|--------------|-------------|
| PAÍS             | GW           | %           |
| CHINA            | 175          | 36%         |
| EUROPA           | 119,3        | 25%         |
| APAC (Sin China) | 114,6        | 24%         |
| AMÉRICA          | 62           | 13%         |
| MEA Y ÁFRICA     | 12           | 2%          |
| <b>TOTAL</b>     | <b>482,9</b> | <b>100%</b> |

**Tabla 3.** Potencia fotovoltaica instalada acumulada mundial 2018

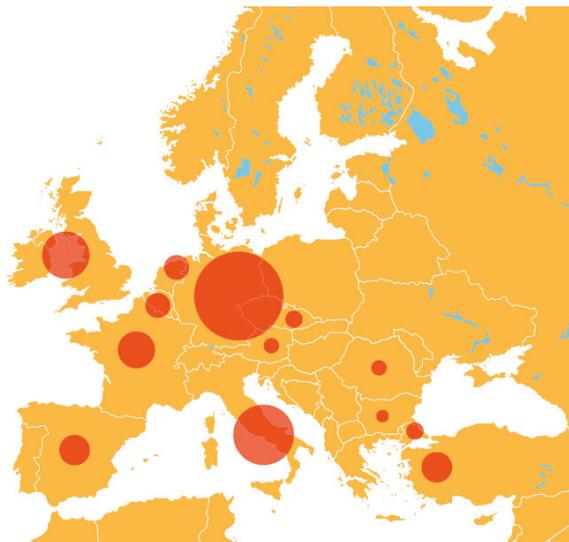
**Evolución anual y valor acumulado  
de la potencia instalada fotovoltaica mundial**



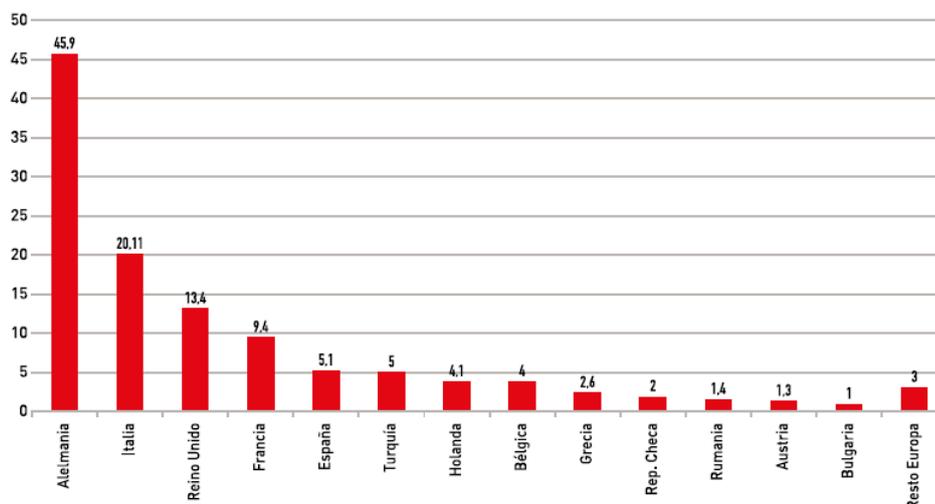
**Ilustración 38. Evolución Global anual de la capacidad PV instalada 2007-2018 (16)**

Respecto a la distribución mundial, Asia es el continente con mayor capacidad fotovoltaica instalada, 274,6 GW. Más del 60% de esta potencia se encuentra en China (175 GW), el 20% en Japón (55,5 GW), el 9,75% en la India (26,8 GW), el 2,84% en Corea del Sur (7,8 GW) y cerca del 1% en Tailandia (2,7 GW) y en Taiwán (2,6 GW).

El segundo continente con mayor potencia fotovoltaica es Europa con un total de 119,3 GW. El 38,47% se encuentra en Alemania (45,9 GW), el 16,85% en Italia (20,1 GW), el 11,23% en Reino Unido (13,4 GW), el 7,9% en Francia (9,4 GW), el 4,27% en España (5,1 GW), el 4,2% en Turquía (5 GW), el 3,44% en Países Bajos (4,1 GW) y un 3.35% en Bélgica (4 GW).



**Ilustración 39. Mapa de Potencia PV instalada en Europa por países 2018 (GW) (16)**



**Ilustración 40.** Potencia PV instalada en Europa por países 2018 (GW) (16)

En América del Norte se ha alcanzado la potencia PV instalada acumulada de 55,3 GW de los que 49,6 GW se encuentran en EEUU (89,7%), 3,1 GW en México (5,6%) y 2,5 GW en Canadá (4,5%).

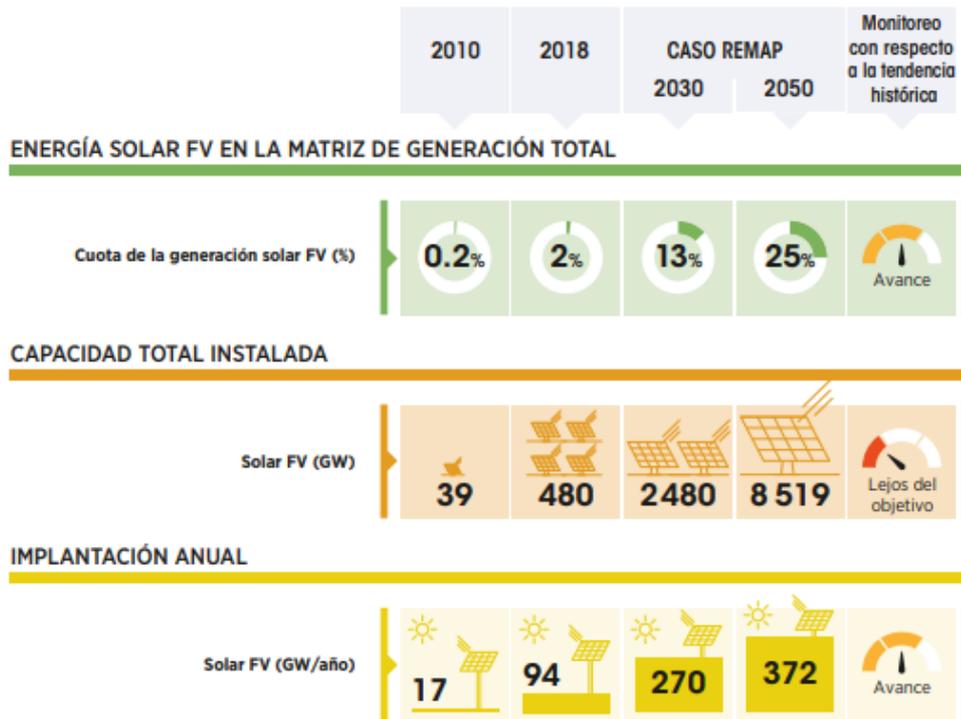
En Oceanía y África las potencias instaladas son de 10 GW y 5,1 GW respectivamente. En Oriente Medio hay 3 GW de potencia, en Sudamérica 5,4 GW y en Centroamérica 1,7 GW.

IRENA estima que en el año 2050 la energía solar fotovoltaica constituirá la segunda fuente de producción de energía eléctrica con mayor peso detrás de la eólica y generará la cuarta parte de la electricidad total necesaria a escala mundial.

En el Informe de Transformación Energética Global propuesto por IRENA se plantea una trayectoria técnica y viable económicamente desde la actualidad hasta 2050, llamada caso REmap, en la que se considera el crecimiento de las energías renovables para mantener el incremento de la temperatura mundial por debajo de 2 grados.

Las medidas propuestas por el caso REmap para la energía solar fotovoltaica supondrán multiplicar por 6 la capacidad solar en los próximos 10 años, de forma que se pasará de los 480 GW de 2018 a 2840 GW en 2030 y 8519 GW en 2050.

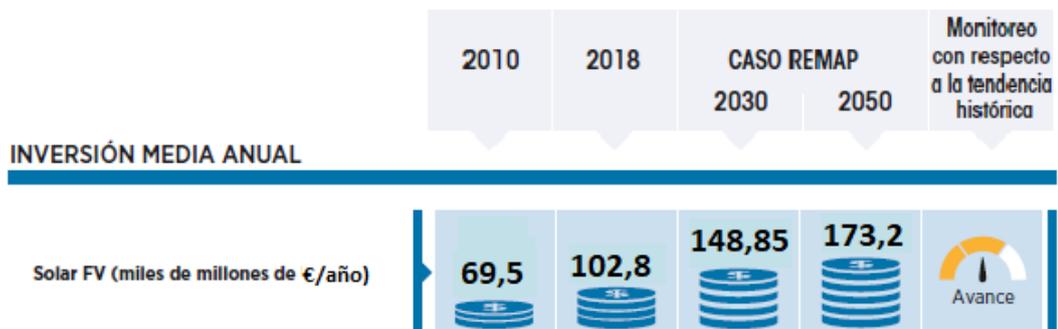
Para conseguir este objetivo es preciso multiplicar por 3 las adiciones anuales de capacidad solar hasta 2030 (hasta 270 GW/año) y por 4 hasta 2050 (hasta 372 GW/año) en comparación a los niveles actuales (94GW en 2018).



*Ilustración 41. Situación Actual y futuro de la Energía Solar Fotovoltaica (20)*

En cuanto a la distribución de la potencia fotovoltaica instalada prevista, se espera que en Asia, y más en concreto en China, se extiendan las instalaciones fotovoltaicas hasta alcanzar la cuota del 50% en el año 2050, seguida por Norteamérica con un 20% y por Europa con un 10%.

Para alcanzar estas estimaciones se calcula que se producirá un aumento del 78% de la inversión media anual en energía solar fotovoltaica. Esto supondría realizar una inversión de 192.000 millones de USD/año, lo que suponen 173.203 millones de € anuales a escala mundial hasta el año 2050.



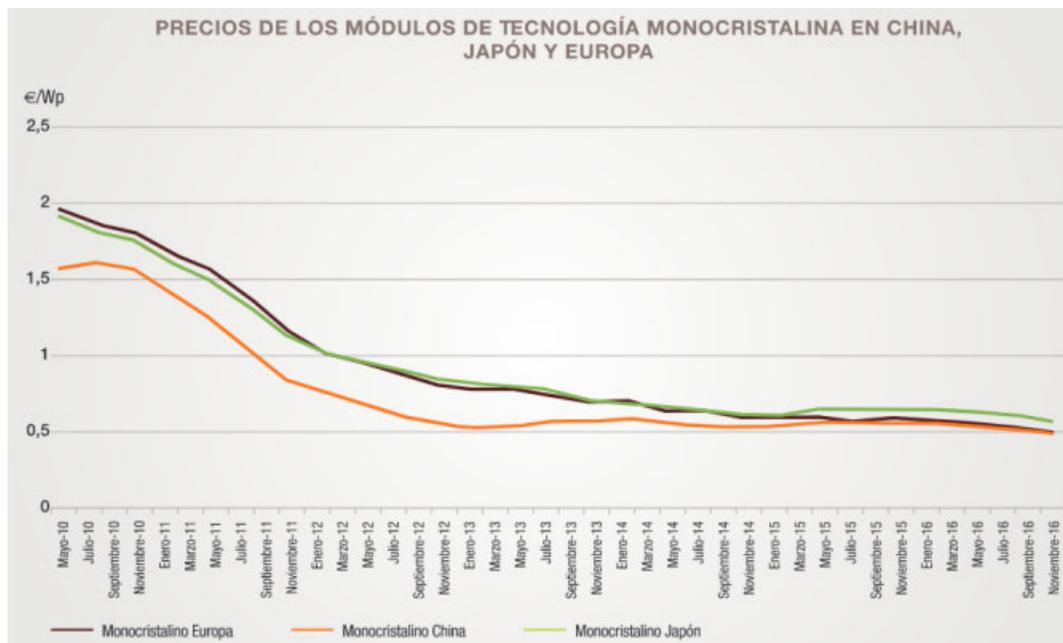
*Ilustración 42. Inversión Actual y futura de la Energía Solar Fotovoltaica (7)*

### 3.1.2. Coste de la Tecnología

El aumento de la generación renovable fotovoltaica es atribuido en gran medida a los decrecientes costes tanto de adquisición de los módulos solares fotovoltaicos como de producción de la energía.

El coste de los módulos fotovoltaicos se redujo en más del 90% desde el 2009. Y según Bloomberg New Energy Finance (BNEF) la tecnología fotovoltaica continuará reduciendo sus costes un 34% respecto al coste actual en los próximos 10 años.

A continuación, se muestra la evolución del precio de los módulos de los paneles de silicio monocristalino en Japón, China y Europa entre los años 2010 y 2016:



**Ilustración 43.** Precios de los Módulos de Silicio Monocristalino en China, Japón y Europa (21)

El precio de los módulos ha continuado descendiendo los últimos años para todas las tecnologías fotovoltaicas y actualmente podemos adquirir módulos desde 0,2 €/Wp.

En la siguiente gráfica se muestran los valores, proporcionados por pvXchange, que han ido tomando los precios medios cotizados en el mercado europeo de los módulos fotovoltaicos cristalinos de distintas tecnologías entre abril del 2018 y abril del 2019:

CAPÍTULO 3.- ENTORNO SOCIAL, ECONÓMICO Y LEGAL DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

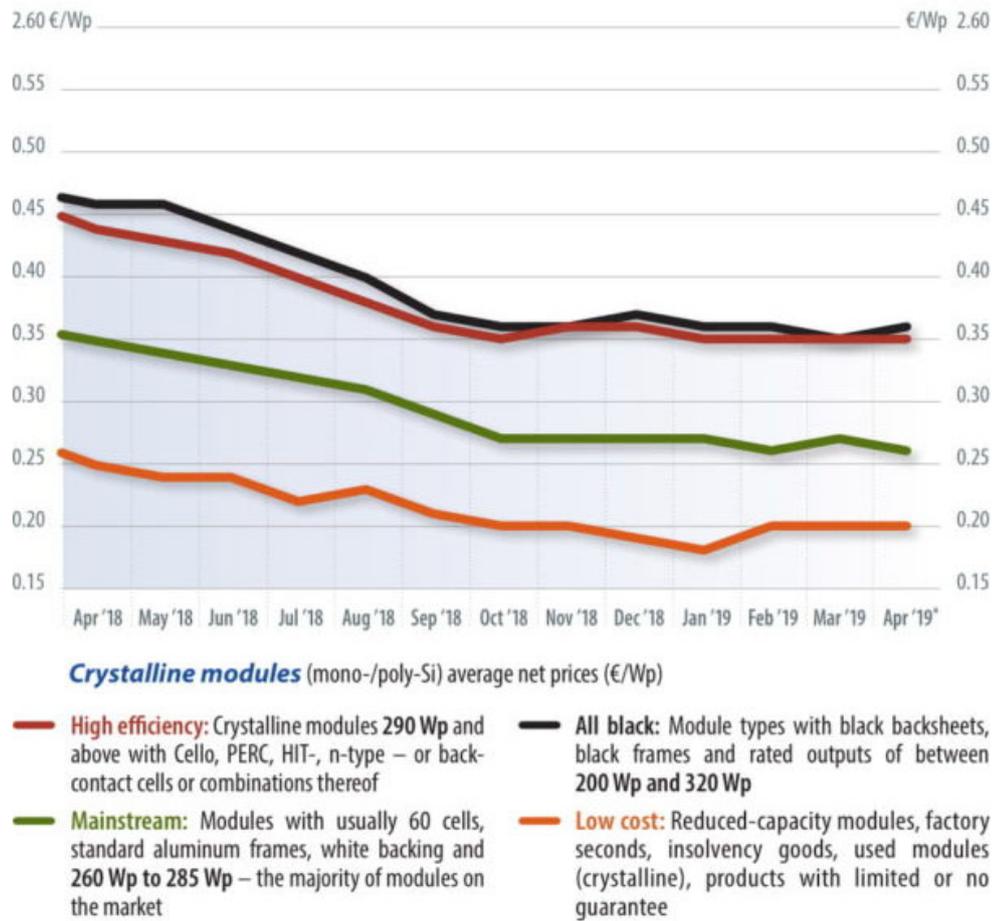


Ilustración 44. Precios de los Módulos PV por tecnología en Europa (22)

Los precios al finalizar el año 2019 fueron los siguientes:

| Module class               | €/Wp | Trend since November 2019 | Trend since January 2019 | Description   |
|----------------------------|------|---------------------------|--------------------------|---|
| <b>Crystalline modules</b> |      |                           |                          |   |
| Bifacial                   | 0.40 | + 5.3 %                   | - 7.0 %                  | Solar modules with bifacial cells, transparent back sheets or double glas modules, framed or unframed.            |
| High Efficiency            | 0.33 | + 3.1 %                   | - 5.7 %                  | Crystalline modules 295 Wp and above with PERC, HJT, n-type or back-contact cells, or combinations thereof        |
| All Black                  | 0.34 | 0.0 %                     | - 5.6 %                  | Module types with black back sheets, black frames and a rated power between 200 Wp and 330 Wp                     |
| Mainstream                 | 0.24 | - 4.0 %                   | - 11.1 %                 | Standard modules, typically with 60 multicrystalline cells, aluminum frame, white backsheet and 270 Wp to 290 Wp  |
| Low Cost                   | 0.19 | 0.0 %                     | + 5.6 %                  | Factory seconds, insolvency goods, used or low-output modules (crystalline), products with limited or no warranty |

Ilustración 45. Índice de Precios de los Módulos PV por tecnología en Europa para Diciembre 2019 (22)

IRENA estima que, gracias a las innovaciones que se producen en la tecnología fotovoltaica, el coste continuará bajando drásticamente en las tres próximas décadas. Esto llevaría a la energía PV a situarse en una posición muy competitiva.

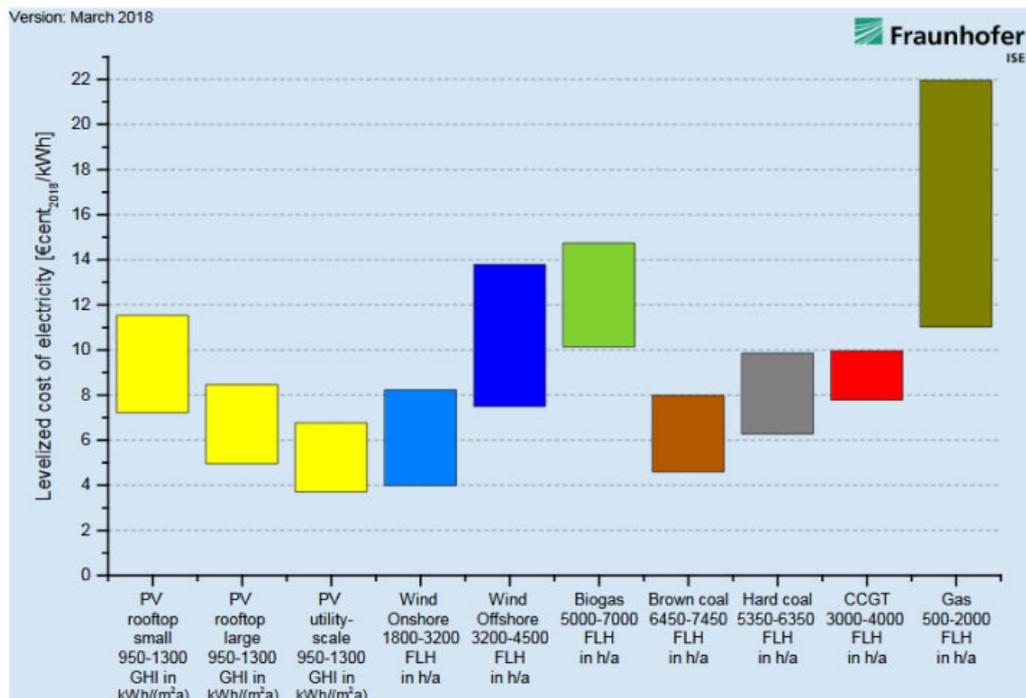
### 3.1.3. Coste de la Energía Producida

El coste de producción de energía solar fotovoltaica es, en la actualidad, menor que cualquier opción basada en combustibles fósiles.

Desde el año 2018 los resultados de distintos estudios coinciden en que el coste de la energía solar fotovoltaica compite ya de forma directa con otras tecnologías, tanto renovables como convencionales, de generación de electricidad.

El LCOE (Levelized Cost of Electricity) o coste medio de la energía producida en Marzo del 2018 en Europa tomó los siguientes valores:

- 0,04-0,07 €/KWh para grandes plantas fotovoltaicas
- 0,10-0,27 €/KWh para plantas en tejado residencial



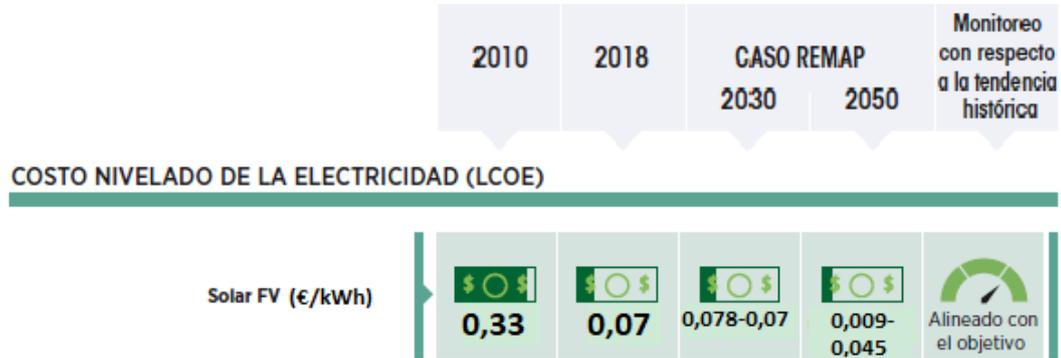
**Ilustración 46.** Coste Medio de la Energía Producida en Europa. Marzo 2018 (23)

En la gráfica se muestran los valores entre los que se sitúan los costes medios de producción de la energía para distintas fuentes renovables.

Como se puede observar, los valores que tomaba el coste de la energía solar fotovoltaica para los tres casos estudiados son similares o inferiores al resto de los costes asociados a otras energías.

Además, las perspectivas estimadas por IRENA para el 2020 muestran que las tecnologías fotovoltaica y eólica serán más baratas sin ayuda financiera que las alternativas basadas en combustibles fósiles.

IRENA pronostica que el LCOE de la energía solar PV continuará reduciéndose a escala global de la siguiente forma:



*Ilustración 47. LCOE actual y futuro de la Energía PV (20)*

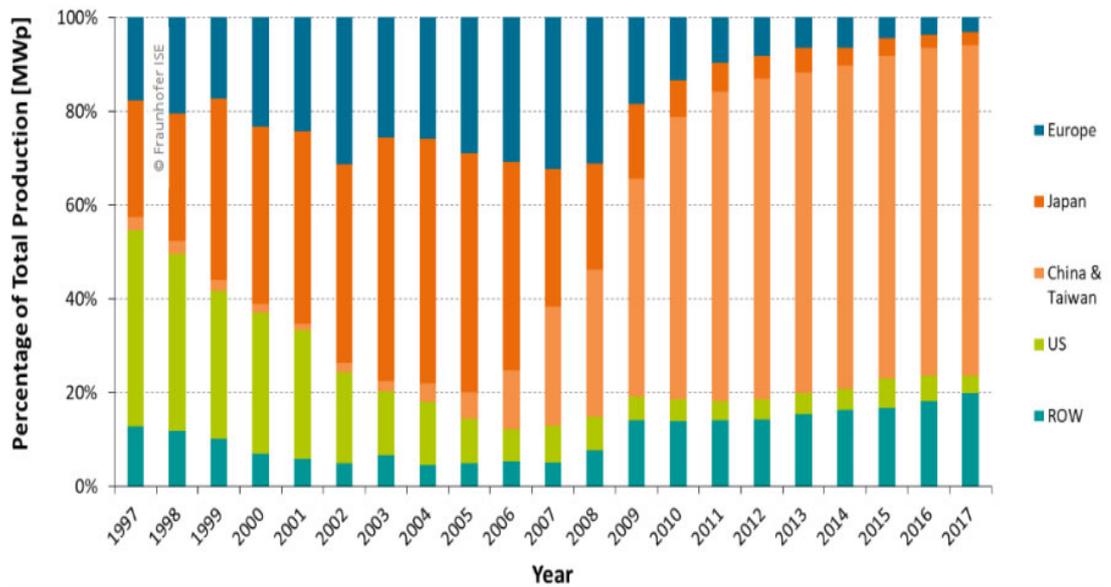
Este descenso permitirá alcanzar el objetivo de cubrir el 25% de las necesidades energéticas mundiales mediante la energía fotovoltaica.

### 3.1.4. Producción de Paneles y Tecnología

La producción de paneles a nivel mundial ha sufrido una variación significativa en los últimos años, EEUU y Japón fabricaban la mayoría de los paneles que se producían en el mundo a finales de los 90 mientras que el porcentaje de paneles que fabricaba China era insignificante en aquellos años.

Actualmente, 8 de los 10 principales fabricantes de paneles fotovoltaicos se encuentran en China y Taiwán. Entre estos dos países se fabrica alrededor del 70% de la producción de paneles total mundial.

La fabricación de módulos PV en Japón supone el 15% de la producción total global, seguido por América del Norte (4%) y Europa (3%).



**Ilustración 48.** Producción de módulos fotovoltaicos por Región (1997-2017) (24)

|    | FABRICANTE     | ORIGEN        |
|----|----------------|---------------|
| 1  | JinkoSolar     | China         |
| 2  | JA Solar       | China         |
| 3  | Trina Solar    | China         |
| 4  | LONGi Solar    | China         |
| 5  | Canadian Solar | Canadá        |
| 6  | Hanwha Q-CELLS | Corea del Sur |
| 7  | Risen Energy   | China         |
| 8  | GCL-SI         | China         |
| 9  | Talesun        | China         |
| 10 | First Solar    | EEUU          |

**Tabla 4.** Top 10 Fabricantes de Módulos PV en 2018 (25)

En el año 2018, entre estos 10 fabricantes se cubrió el 70% de la demanda mundial de módulos fotovoltaicos (91,5 GW).

El motivo de que la mayoría de los módulos sean fabricados en China es el reducido coste de fabricación en comparación a los costes de otras empresas rivales situadas en Europa o Japón.

Los costes por producción en China en el año 2010 se encontraban entre 0,08-0,10 USD/KWh mientras que en Europa y EEUU era de 0,18-0,20 USD/KWh.

En el año 2011 la Unión Europea acusó a China de dumping en los módulos fotovoltaicos, es decir, de vender los paneles por un precio inferior a su costo para conseguir así liderar el mercado fotovoltaico.

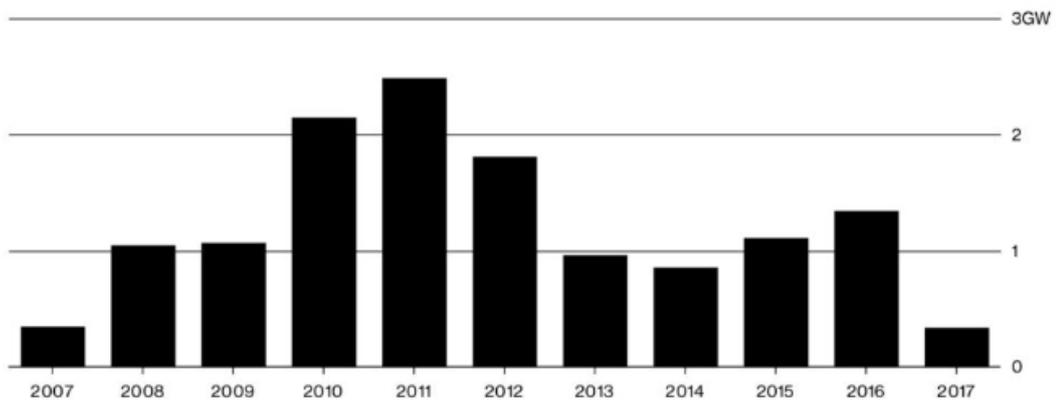
Por este motivo, en el año 2013, la Comisión Europea impuso una medida proteccionista a los paneles chinos por la que se rechazaba su entrada o se aplicaba un arancel.

Tras el escaso aumento de la industria fotovoltaica en Europa y la homogeneización de precios a nivel mundial, la Comisión Europea desbloqueó la entrada de componentes chinos en septiembre del 2018. (26)

### Support Effort Failed

EU anti-dumping levy on Chinese solar panels failed to stem the industry's decline

■ Annual production of photovoltaic modules in EU



*Ilustración 49. Producción Anual Fotovoltaica en Europa durante medidas anti-dumping (27)*

Tras la eliminación de esta medida, la producción de módulos fotovoltaicos en China sufrió un aumento del 14,3% en un año.

Wang Bohua, el presidente de la CPIA (China Photovoltaic Industry Association) indicó que se espera que la industria fotovoltaica china continúe creciendo en los próximos años debido a la demanda europea.

En cuanto al tipo de tecnología empleada en la actualidad, el silicio monocristalino continúa encabezando los valores de eficiencia mayores en paneles fotovoltaicos con respecto a otras tecnologías. Por este motivo, la tecnología basada en Silicio supone aproximadamente el 95% de la producción total del mercado fotovoltaico. (28)

Las tecnologías basadas en perovskita ofrecen perspectivas interesantes pero aún se encuentran en desarrollo.

Por otra parte, las arquitecturas de celdas han permitido aumentar los niveles de eficiencia, aunque el cambio más importante del mercado durante estos años de desarrollo es atribuido a los módulos bifaciales por la adopción de estructuras avanzadas.

La limitación de este tipo de energía es la intermitencia de su generación, ya que la energía solar se limita de forma natural a las horas diurnas.

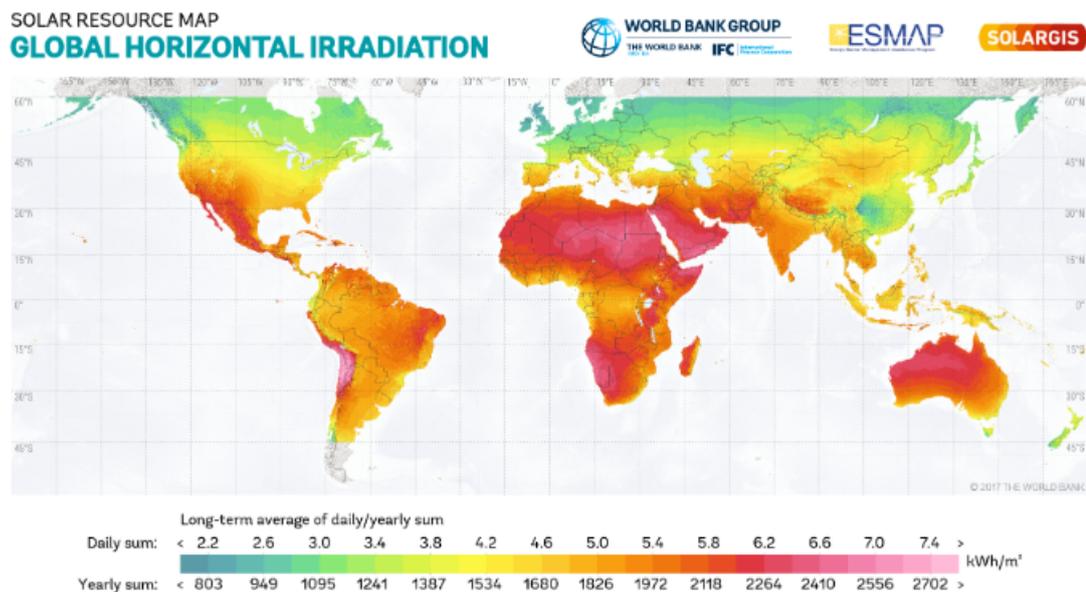
Este obstáculo está desapareciendo gracias a los avances en el campo de almacenamiento de energía en baterías solares.

En el informe Lazard del 2018 se realiza un análisis de la evolución del coste de almacenamiento de energía fotovoltaica en el que se apunta una reducción de los costes de almacenamiento en baterías de litio del 28% para el 2023.

IHS Markit pronostica una demanda de 80 GWh de energía de almacenamiento en baterías en los próximos cinco años.

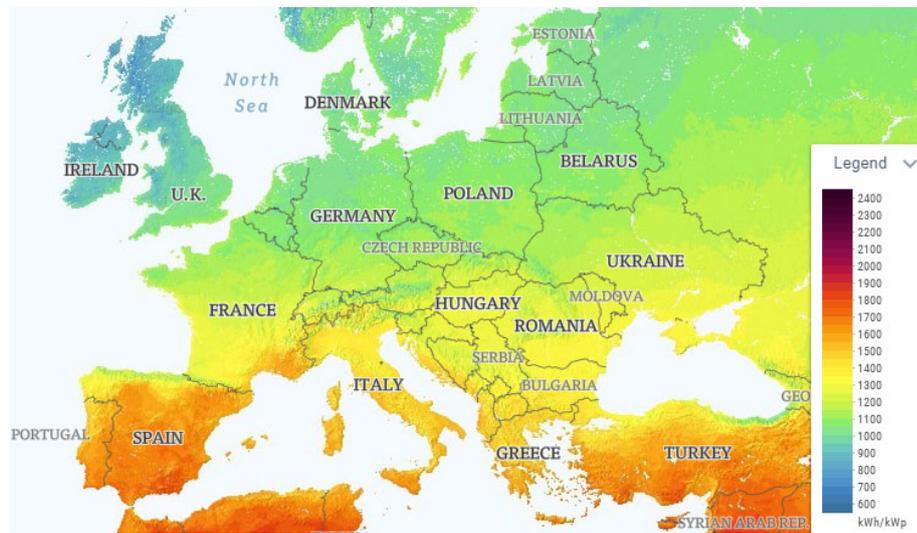
### 3.2. Europa

Debido a que la radiación solar no incide de forma uniforme en la superficie terrestre, no todos los países de Europa pueden recurrir de igual forma al aprovechamiento de la energía solar.



**Ilustración 50. Mapa Global de Irradiación Horizontal (29)**

La intensidad de irradiación solar en el territorio europeo ha permitido el desarrollo de la tecnología fotovoltaica.

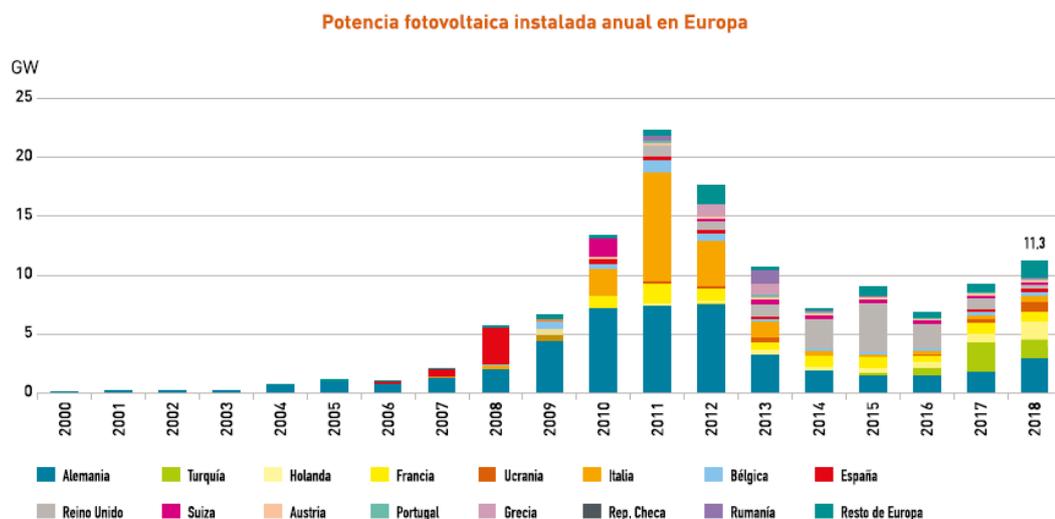


**Ilustración 51. Mapa Europeo de Irradiación Horizontal (29)**

Los países situados al sur de Europa reciben más radiación que aquellos situados al norte del continente y por lo tanto tienen mayor potencial de generación fotovoltaica.

La ciudad europea que mayor radiación solar recibe es Atenas (4,92 kWh/m<sup>2</sup>día) seguida por Madrid (4,88 kWh/m<sup>2</sup>día). Por otra parte, las ciudades con menos horas de sol diarias son Oslo y Estocolmo.

La energía solar fotovoltaica europea ha experimentado un crecimiento muy significativo durante las últimas dos décadas. A continuación se muestran los datos de la potencia instalada en Europa anualmente para el siglo XXI:



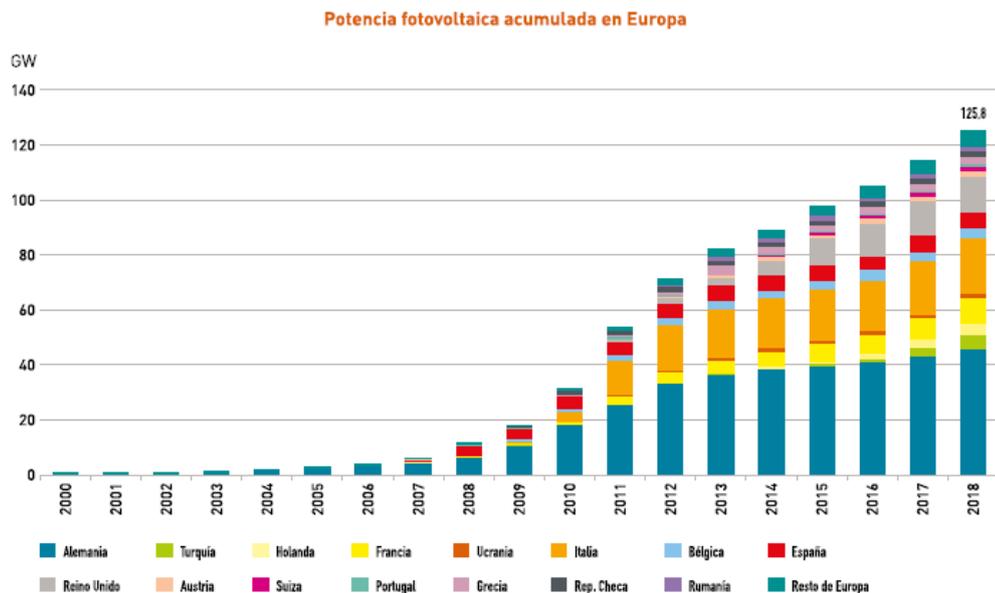
**Ilustración 52. Potencia PV anual instalada en Europa (2000-2018) (30)**

El mayor mercado fotovoltaico europeo para el año 2018 fue Alemania (2,9 GW instalados), seguido por Turquía (1,64 GW instalados) y por Países Bajos (1,5 GW instalados).

Además, 22 de los 28 estados miembros de la UE incrementaron su capacidad de producción de energía solar en el 2018 con respecto al año anterior.

En cuanto a la potencia total instalada acumulada en Europa, en el año 2018 se situaba en 125,8 GW de los cuales Alemania abarcaba el 36,5% (45,9 GW), seguido por Italia con el 15,8% (19,9 GW) y Reino Unido con el 10,3% (13 GW).

España se encuentra en el rango de 1-10 GW instalados junto a Bulgaria, Rumanía, Austria, Suiza, Grecia, República Checa, Ucrania, Francia, Turquía, Países Bajos y Bélgica.



**Ilustración 53. Potencia PV acumulada en Europa (2000-2018) (30)**

**MARCO LEGAL FOTOVOLTAICO EUROPEO:**

En diciembre del 2018 se acordó una nueva legislación europea compuesta por 8 propuestas al que se dio el nombre de “paquete de Energía Limpia” o “Paquete de Invierno”.

En este paquete se recogen las 4 Directivas de fomento del uso de energías renovables y eficiencia energética así como 3 revisiones de directivas ya existentes y el “Reglamento sobre Gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima (Reglamento 2018/1999)”.

Las 4 directivas mencionadas son las siguientes:

- *Directiva de Fomento del Uso de Energía procedente de Fuentes Renovables (Directiva 2018/2001) (31)*
- *Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (Directiva 2018/844) (32)*
- *Directiva de Eficiencia Energética (Directiva 2018/2002) (33)*
- *Directiva sobre Normas Comunes para el Mercado Interior de la Electricidad (Directiva 944/2019) (34)*

La finalidad de estas directivas es establecer un marco legal que asegure la consecución de la transición energética, la lucha contra el cambio climático y el cumplimiento de los objetivos por parte de la Unión Europea hasta el 2030.

Los objetivos principales de la Unión Europea aumentaron a un 32% para las energías renovables y un 32,5% para la eficiencia energética. Se incluyó también una cláusula para su posible futura revisión al alza en el año 2023.

### 3.3. España

España se encuentra en una posición privilegiada en Europa en lo que a radiación solar respecta. El número de horas solares anuales en España se encuentra entre 2500 y 3000. Este rango también es alcanzado por Turquía, Portugal, el sur de Grecia, Cerdeña, el sur de Italia, el sur de Francia y la costa de Croacia.

A nivel nacional, la capital española que recibe mayor radiación solar es Santa Cruz de Tenerife (5,40 kWh/m<sup>2</sup>día) seguido por Almería (3,71 kWh/m<sup>2</sup>día). Las siguientes capitales en orden decreciente de irradiancia son: Cádiz, Sevilla, Huelva, Málaga, Granada y Jaén.

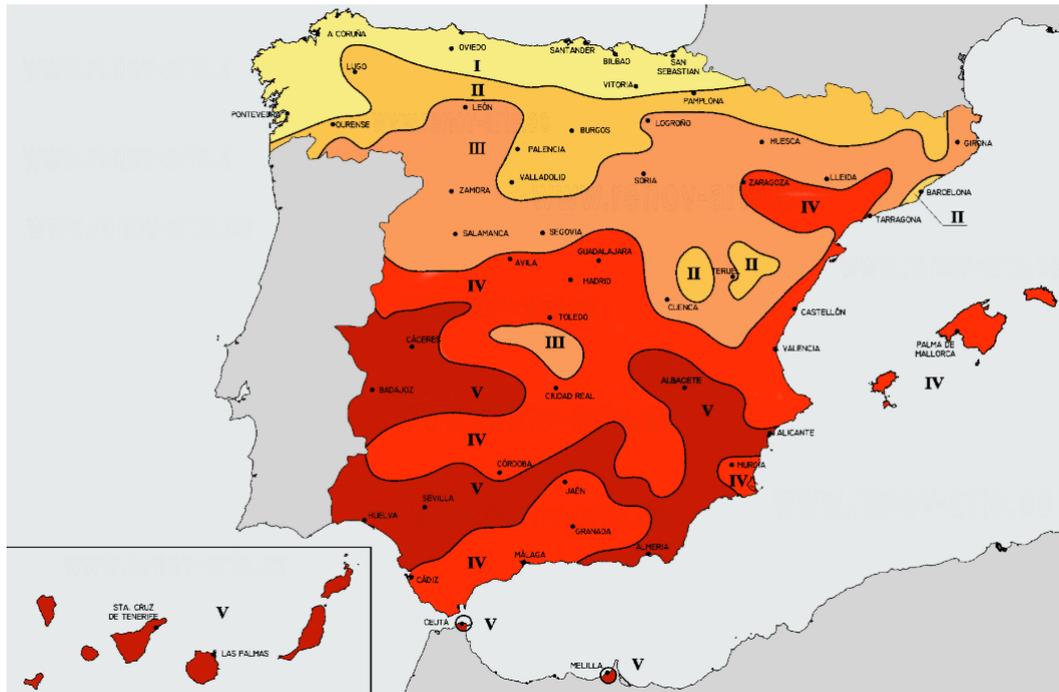
Las ciudades españolas que menos radiación solar reciben son aquellas situadas en la cornisa cantábrica.

El Código Técnico de Edificación divide el territorio nacional en 5 zonas según la radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal (H):

| Zona climática | MJ/m <sup>2</sup>    | kWh/m <sup>2</sup> |
|----------------|----------------------|--------------------|
| I              | $H < 13,7$           | $H < 3,8$          |
| II             | $13,7 \leq H < 15,1$ | $3,8 \leq H < 4,2$ |
| III            | $15,1 \leq H < 16,6$ | $4,2 \leq H < 4,6$ |
| IV             | $16,6 \leq H < 18,0$ | $4,6 \leq H < 5,0$ |
| V              | $H \geq 18,0$        | $H \geq 5,0$       |

**Tabla 5. Radiación Solar Media Diaria Anual por cada zona definida (35)**

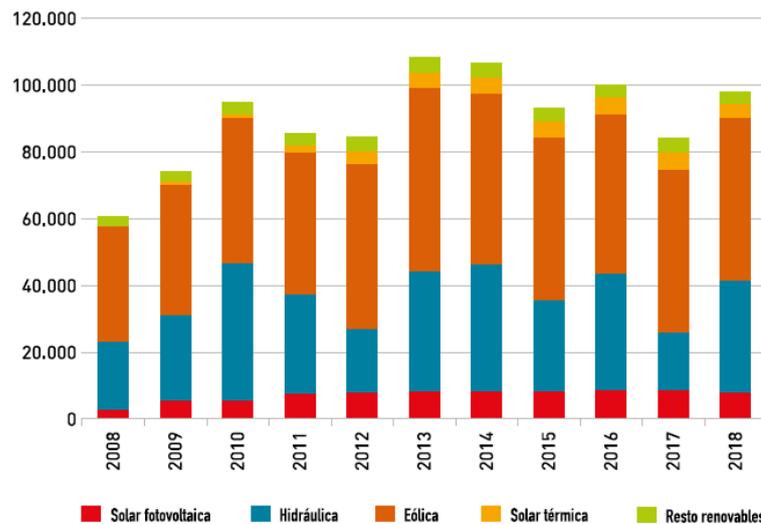
CAPÍTULO 3.- ENTORNO SOCIAL, ECONÓMICO Y LEGAL  
DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA



**Ilustración 54. Mapa de Radiación Solar en España por zonas (35)**

La evolución de la generación fotovoltaica en España con respecto al resto de energías renovables lleva en la última década suponiendo de media un 3% del total.

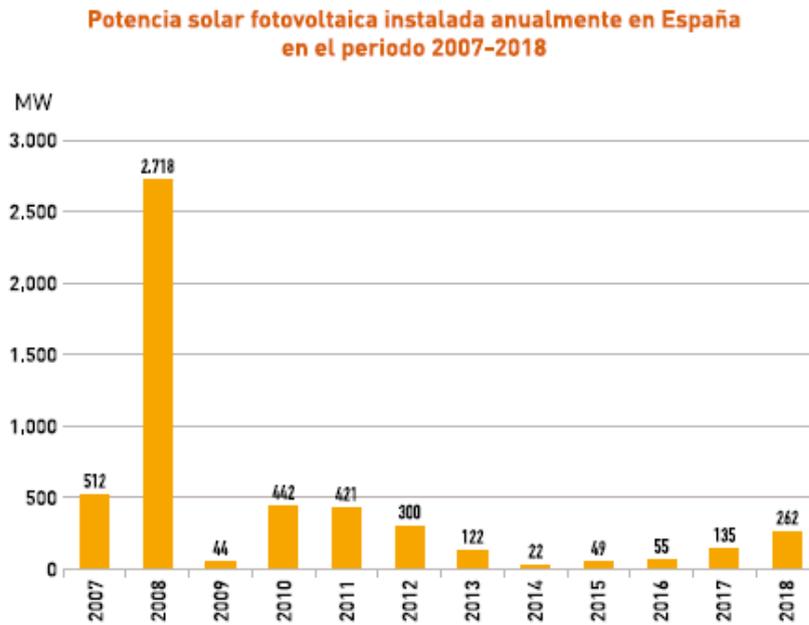
**Evolución de generación renovable en España (GWh)**



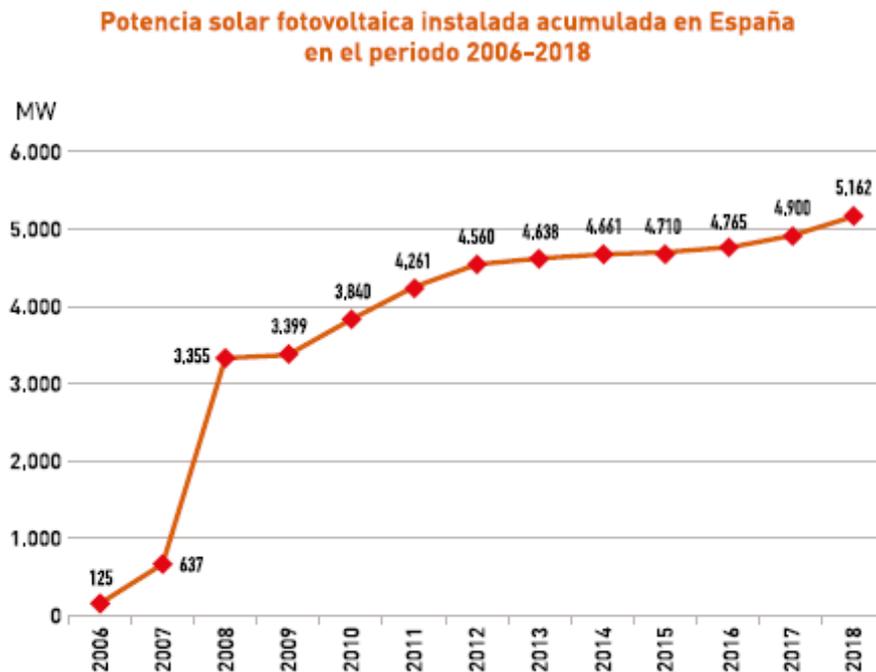
**Ilustración 55. Evolución de Generación Renovable en España (2008-2018) (16)**

El mayor porcentaje de generación renovable para el año 2018 en España es registrado en Castilla y León con un 77% seguido por Navarra (70%).

Respecto a la energía solar fotovoltaica, los valores de potencia anual instalada en España y acumulada para los últimos años son los siguientes:



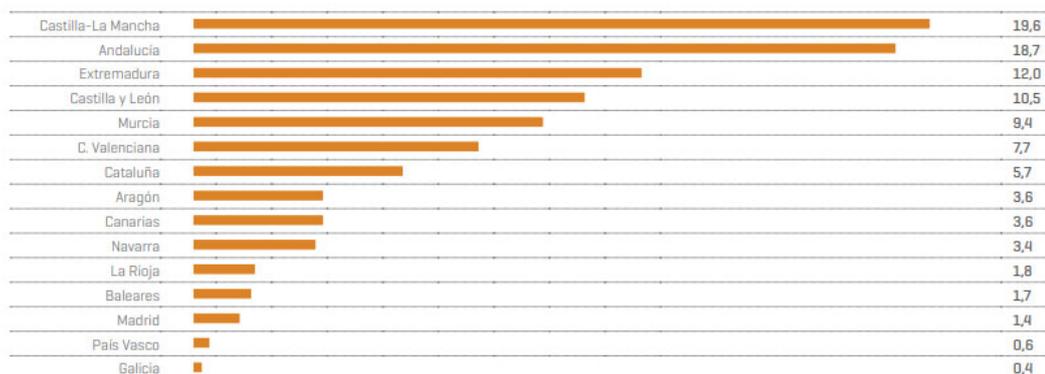
*Ilustración 56. Potencia solar PV instalada anualmente en España (2007-2018) (16) (36)*



*Ilustración 57. Potencia solar PV instalada acumulada en España (2006-2018) (16) (36)*

En cuanto a la distribución de la potencia fotovoltaica instalada en España, Castilla-La Mancha supone el 20% del reparto de esta potencia por comunidades autónomas seguida por Andalucía y algo más lejos por Extremadura y Castilla y León. Estas cuatro comunidades acumulan más del 60% de la potencia fotovoltaica instalada en España.

Por lo contrario, las comunidades situadas al norte de la península se sitúan con valores de potencia fotovoltaica inferiores al 1% respecto a los datos nacionales.



**Ilustración 58.** Potencia PV instalada (%) en España por Comunidad Autónoma (2018) (36)

En el año 2019 la potencia instalada de generación renovable aumentó un 10% con respecto al año anterior.

La potencia solar fotovoltaica instalada en el 2019 fue de 7800 MW situándose como la tecnología que más ha incrementado su presencia en cuanto a las opciones de generación en España. Ha aumentado un 66% con respecto al 2018. (37)

El porcentaje de contribución de la energía solar fotovoltaica en la generación total en España fue un 0,5% superior a los datos registrados para el año anterior.



**Ilustración 59.** Generación Eléctrica en España 2019 (38)

### **MARCO LEGAL FOTOVOLTAICO EN ESPAÑA:**

La legislación en España relativa a los sistemas de generación eléctrica en las instalaciones fotovoltaica es muy compleja y extensa y cuenta con actualizaciones recientes.

De forma general, la actividad fotovoltaica se incluye en la regulación del sector de energía eléctrica y en el de energías renovables, basado en:

- El Real Decreto 1955/2000 que regula las actividades de transporte, retribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. (39)
- El Real Decreto 842/2002 por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico de baja tensión. (40)
- El Real Decreto 1699/2011 por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. (41)
- El Real Decreto-Ley 9/2013 por el que se tomaron medidas para garantizar la estabilidad financiera del sector eléctrico. (42)
- La Ley 24/2013 del sector eléctrico que regula el régimen económico de las energías renovables (43)
- El Real Decreto 413/2014 que regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, cogeneración y residuos. (44)

Las normas más recientes en las que se enmarca el sector de energía solar fotovoltaica con las siguientes:

- Real Decreto-Ley 15/2018 que establece medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores (45)
- Real Decreto 244/2019 por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. (1)

En el año 2015 se incluyó en el marco legal del sector de energía fotovoltaica el Real Decreto 900/2015 de 9 de octubre (derogado), también llamado impuesto al Sol, por el que se regulaban las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.

Este decreto fue derogado en el año 2018 con el fin de fomentar el autoconsumo de energía fotovoltaica.

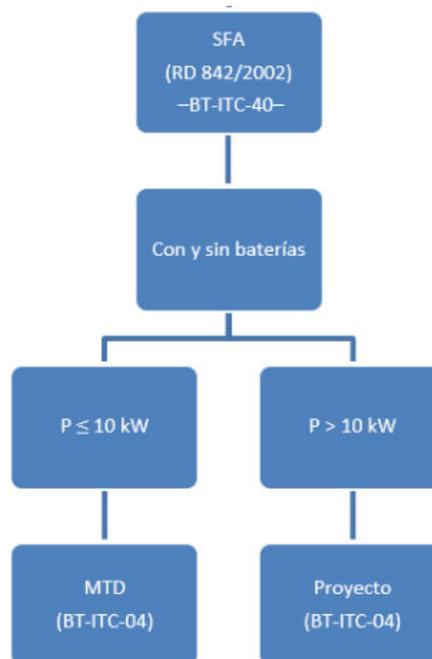
A continuación, se indican las normativas vigentes en función del tipo de instalación fotovoltaica:

- Sistemas Fotovoltaicos Aislados (SFA):

Los sistemas fotovoltaicos aislados se consideran instalaciones generadoras aisladas de baja tensión, y siguen la normativa impuesta por el Real Decreto 842/2002.

Si la potencia de la instalación es inferior a 10 kW se requiere la realización de una Memoria Técnica de Diseño (MTD). Si por lo contrario, la potencia es superior a 10 kW se debe realizar un proyecto firmado por un técnico competente.

Ambos documentos, la MTD y el proyecto deben seguir las directrices de la ITC-BT-04.



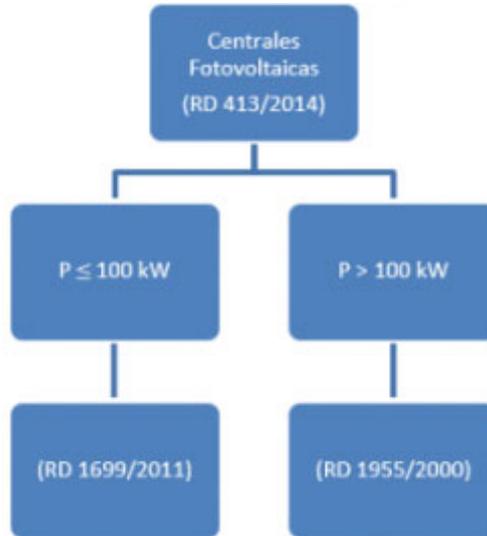
*Ilustración 60. Esquema de la normativa vigente para Sistemas FV Aislados (46)*

- Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red:

La normativa para los sistemas conectados a red es diferente para el caso de instalaciones diseñadas exclusivamente para la generación eléctrica (centrales fotovoltaicas) y para sistemas de autoconsumo.

La norma que aplica a las centrales fotovoltaicas es el Real Decreto 413/2014. En este decreto se recogen las condiciones de retribución económica de las instalaciones de construcción anterior y posterior a la publicación en el BOE.

Dentro de la categoría de centrales fotovoltaicas se distinguen aquellas cuya potencia es inferior a los 100 kW, que están reguladas por el Real Decreto 1699/2011 y las centrales de potencia superior a los 100 kW que aplican las condiciones del RD 1955/2000.



**Ilustración 61.** Esquema de la normativa vigente para Centrales Fotovoltaicas (46)

Para el caso de instalaciones de autoconsumo, las normas de aplicación son el Real Decreto-Ley 15/2018 y su desarrollo normativo el RD 244/2019.

En estas normas se dividen las instalaciones de autoconsumo en dos modalidades: con excedentes y sin excedentes.

Las instalaciones sin excedentes deben contar con sistemas antivertido que impida que el exceso de energía eléctrica producida se inyecte a la red de distribución.

Dentro de las instalaciones sin excedentes, se siguen dos normas distintas en función de la potencia. Si se trata de una instalación de potencia inferior a los 100 kW, seguirá el Procedimiento Abreviado del RD 244/2019 y si por lo contrario, su potencia supera los 100 kW deberán observar las condiciones técnicas de la Ley 24/2013 sin son de baja tensión o las de el RD 1955/2000 si son de media o alta tensión (más de 15 kV de CC o más de 1 kV en CA).

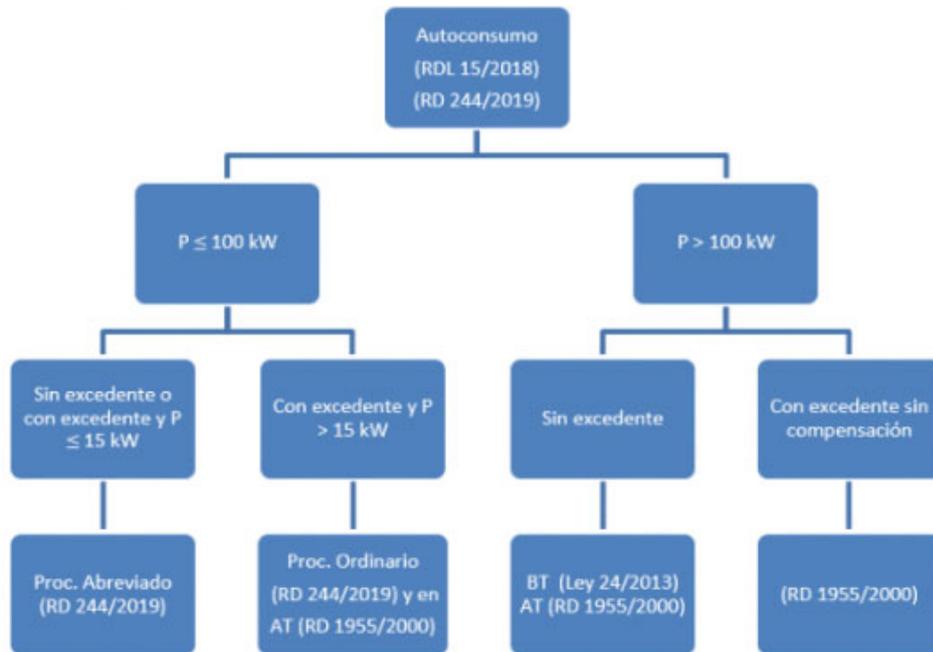
En las instalaciones de autoconsumo con excedentes se distinguen dos categorías: con derecho a compensación y sin derecho a compensación:

- Autoconsumo con excedentes y compensación: No deben superar los 100 kW de potencia nominal.

Si su potencia nominal es menor de 15 kW se tramitarán por el procedimiento abreviado del RD 244/2019, de forma similar a las instalaciones sin excedentes.

Si su potencia nominal es superior a los 15 kW y de baja tensión deberán cumplir el procedimiento ordinario del RD 244/2019. Si superan los 15 kW y son de media o alta tensión deben cumplir el RD 1955/2000.

- Autoconsumo con excedentes y sin compensación: Aquéllas que superan los 100kW. Se rigen por el RD 1955/2000.



**Ilustración 62.** Esquema de la normativa vigente para Instalaciones de Autoconsumo (46)



## 4. REUTILIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS

---

Con el fin de estudiar la posibilidad de ofrecer una segunda vida a un panel desechado, resulta necesario realizar un análisis técnico de los fallos del módulo FV así como de su origen, detección y clasificación según tipo de fallo que permita determinar su aptitud.

Este estudio se centra principalmente en los módulos fotovoltaicos de silicio monocristalino y policristalino cuya vida no haya superado los 15 años. Los paneles fotovoltaicos de capa delgada también se contemplan pero, dada la baja cuota de mercado de este tipo de paneles, no es posible disponer de datos fiables para realizar un análisis en profundidad.

Por otra parte, el proyecto estudia módulos fotovoltaicos de carácter general, es decir, no se centra en las características específicas de un fabricante en concreto.

### 4.1. Definición de Fallo de un Panel Fotovoltaico

Un fallo de un módulo fotovoltaico es un efecto tal que:

1. Produce la degradación de la potencia del módulo que forma que no permite un funcionamiento normal.
2. Supone un problema de seguridad.

Cualquier cuestión puramente física que no tenga las consecuencias de los puntos 1 o 2 no se considera como un fallo del módulo.

Se excluyen de la definición de fallo del panel los defectos que son originados en la fabricación, siempre y cuando no afecten a la seguridad y la potencial nominal indicada en la etiqueta tenga en cuenta la pérdida de potencia causada por imperfecciones de la producción.

Tampoco son considerados como fallos del módulo los problemas debidos a la manipulación del panel ni las causas del entorno que no están contempladas en las especificaciones del módulo. Como ejemplo de causas de este tipo se puede considerar un fallo debido a una carga de nieve pesada y no especificada en la ficha del módulo, o un relámpago por considerarse una causa de fuerza mayor que el módulo no está diseñado para soportar.

(47)

## 4.2. Origen de los Fallos en los Paneles FV

Las principales causas de defectos y errores en los paneles son debidas a la fabricación, los elementos de sujeción, el transporte e instalación, los componentes de conexión y los relámpagos.

Como se ha indicado en el apartado anterior, las causas debidas a la fabricación y a los relámpagos no se consideran fallos del panel pero deben ser mencionados por ser un motivo común de error en los paneles.

El proceso de fabricación influye de forma notable en los fallos. Desde el sector se desarrollan procedimientos y requerimientos para asegurar la calidad de fabricación y el control de la producción basado en: garantías, calidad del material, inspecciones y chequeo final del producto.

Para reducir los defectos en la fabricación se estudian los fallos en la soldadura por fatiga electromecánica y el proceso de laminación del producto (para evitar la delaminación, decoloración, oxidación y aparición de “snail trail”) así como la presencia de burbujas que pueden producir una mayor degradación de los módulos.

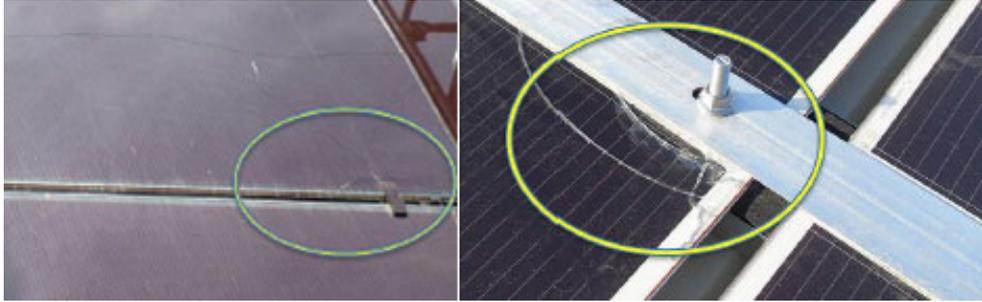
Por otro lado, los relámpagos pueden provocar problemas mecánicos en los paneles o en los diodos de derivación. Los rayos se consideran una causa externa para la que los paneles no están preparados, pero deben tenerse en cuenta por dar lugar a puntos críticos en el sistema fotovoltaico que causen fallos posteriores.

Además de los fallos comunes debidos a causas externas indicados a continuación, existen otros posibles: cortes de red de la planta, defectos del control, fallos del seguimiento, errores en las estructuras y soportes, etc.

### 4.2.1. Elementos de Sujeción

Los elementos de sujeción de los paneles, entre los que se consideran las abrazaderas y pinzas, suponen el origen de un fallo común de rotura del vidrio y el marco de los paneles que puede producir errores en ellos.

La rotura del vidrio que protege a los paneles permite la penetración del oxígeno y del vapor de agua en el interior del módulo fotovoltaico y conduce a la acelerada corrosión de las celdas y a la reducción del rendimiento del panel.



**Ilustración 63.** A la izquierda, rotura de un panel FV debido a abrazadera mal diseñada. A la derecha, rotura del panel debido a tornillo demasiado apretado (47)

#### 4.2.2. Transporte e Instalación

El transporte y la instalación de los paneles suponen etapas críticas en la vida de los módulos.

Las vibraciones o pequeños golpes que se producen durante el transporte y la instalación, hacen a los módulos susceptibles a sufrir roturas en el vidrio que los protege o en las células de su interior.

En caso de que se fracture el cristal, el fallo es fácil de atribuir a estas etapas pero si existe una rotura en las células fotovoltaicas es necesario utilizar métodos de detección de fallo como la electroluminiscencia para poder diagnosticar el error.

Se puede producir una rotura o agrietamiento de las células fotovoltaicas que no resulte detectable de forma visual durante un transporte normal en contenedores específicamente diseñados.

No obstante, algunas situaciones en las que se produce una rotura de las células fotovoltaicas pero no es evidente ya que el cristal no presenta fallos son las siguientes:

- Una caída del panel fotovoltaico
- Al transportar los paneles en un palé o plataforma que no es suficientemente estable como para amortiguar las vibraciones del transporte.

El daño sufrido durante el transporte o la instalación requiere de un diagnóstico y análisis de consecuencias sobre el panel que determinen la posibilidad de su uso. (47)

### 4.2.3. Componentes de Conexión

Los conectores son utilizados en las instalaciones fotovoltaicas para conectar paneles solares entre sí, a las cajas de fusibles, a las baterías, inversores y cajas de conectores.

Estos elementos son de importancia para el funcionamiento del sistema. Un mínimo fallo en un conector puede causar problemas en la generación de energía.

En el peor de los casos, un conector mal ajustado puede dar lugar a un arco eléctrico y producir un incendio.

En la mayoría de las ocasiones, los problemas causados por los componentes de conexión de la instalación no se consideran un fallo del panel FV.

A pesar de la importancia de estos elementos para la seguridad del sistema, aún no existen conectores estandarizados en el mercado. (47)

## 4.3. Clasificación de los Fallos

Existen muchas clasificaciones de los fallos: en función del ciclo de vida, del origen del fallo, de la fecha de instalación, etc.

En este proyecto, basándonos en la definición de fallo (apartado 4.1), clasificaremos los fallos en dos categorías:

- En función de la pérdida de potencia
- En función de su afección sobre la seguridad

### 4.3.1. En función de la Pérdida de Potencia

Se produce un fallo en el rendimiento del panel cuando la potencia que proporciona el módulo ( $P_m$ ) medida de acuerdo a la UNE-EN 60904-1-1 (adaptación al español de la Norma Internacional IEC 60904-1-1:2017 por la que se miden las características corriente-tensión de los dispositivos fotovoltaicos), más la incertidumbre de la medición ( $\Delta P_m$ ) es menor que la potencia indicada en las especificaciones de la etiqueta del módulo ( $P_l$ ) menos la tolerancia estimada ( $\Delta P_l$ ).

$$P_m + \Delta P_m < P_l + \Delta P_l$$

**Ecuación 3.** Determinar el fallo de un panel por Pérdida de Potencia (47)

Una vez se ha determinado un fallo en el panel por pérdida de potencia, este fallo se clasifica en una de las siguientes categorías en función de las pérdidas que ocasiona:

| CATEGORIA | DESCRIPCIÓN  |
|-----------|--|
| <b>A</b>  | Pérdida de potencia inferior al 3%, por debajo del umbral detectable |
| <b>B</b>  | Pérdida de potencia exponencial y continuada en el tiempo            |
| <b>C</b>  | Pérdida de potencia lineal y continuada en el tiempo                 |
| <b>D</b>  | Pérdida de potencia saturada a lo largo del tiempo                   |
| <b>E</b>  | Degradación a saltos a lo largo del tiempo                           |
| <b>F</b>  | Degradaciones de tipología variada a lo largo del tiempo             |

**Tabla 6.** Categorías de fallo en función de la pérdida de potencia (47)

Además de esta clasificación, se indican a continuación algunos de los factores que agregan información del fallo y que afectan de forma negativa a la pérdida de potencia:

| Índice    | Factor de aumento de la pérdida de potencia |
|-----------|---|
| <b>t</b>  | Temperatura                                 |
| <b>v</b>  | Voltaje                                     |
| <b>i</b>  | Corriente                                   |
| <b>h</b>  | Humedad                                     |
| <b>m</b>  | Carga Mecánica                              |
| <b>u</b>  | Irradiación                                 |
| <b>tc</b> | Ciclo térmico                               |
| <b>s</b>  | Sombra                                      |

**Tabla 7.** Factores de aumento de la pérdida de potencia (47)

#### 4.3.2. En función de la Afección sobre la Seguridad

Para esta clasificación se tiene en cuenta la influencia del fallo del panel sobre la seguridad de la planta. Se definen tres clases, según la normativa IEC 61853-1 (UNE-EN 61853-1) que permiten evaluar la acción necesaria a tomar cuando se produce un fallo de seguridad.

| CATEGORIA        | DESCRIPCIÓN                                     |
|------------------|---|
| <b>A</b>         | No causa inseguridad                            |
| <b>B (f,e,m)</b> | Riesgo de fuego, de cortocircuito o daño físico |
| <b>C (f,e,m)</b> | Hay fuego, cortocircuito o daño físico          |

**Ilustración 64.** Categorías de fallo en función de la afección sobre la seguridad (47)

Las letras del paréntesis aportan información a la clasificación del fallo de seguridad de tipo B o C:

- (f): Posibilidad de incendio
- (e): Posibilidad de descarga eléctrica
- (m): Posibilidad de peligro físico

La acción a tomar después de sufrir un fallo de seguridad depende de la aplicación del módulo fotovoltaico. En algunas ocasiones el módulo debe ser sustituido por uno nuevo y otras veces puede permanecer en su lugar.

Las aplicaciones de los módulos fotovoltaicos se definen en IEC 61730-1 (su correspondiente adaptación a la norma española es UNE-EN IEC 61730-1:2019).

#### 4.4. Detección de Fallos en Módulos

Existen distintos métodos de medición aplicada a los paneles fotovoltaicos que permiten la identificación de fallos.

En este apartado se explicarán las técnicas más comunes y la interpretación que debe realizarse a los resultados de estas mediciones para poder determinar errores en los módulos.

Los métodos de detección de errores más comunes son los siguientes:

- Inspección visual
- Medidas de I/V y revisión de la curva característica del panel
- Termografía
- Electroluminiscencia (EL)
- Fluorescencia UV
- Método de transmisión de señal (Signal Transmision Device, STD)

Los dos primeros son los más comunes y extendidos y en ellos que se basará el presente estudio de reutilización. Se explican a continuación:

**INSPECCIÓN VISUAL:**

Es el método más rápido y eficaz de búsqueda de fallos en un panel. Este método está regulado por las normativas IEC 61215 (48) e IEC 61646. (49)

Se recomienda la revisión del módulo por delante, por detrás, en el marco, las uniones y conexiones y el cableado.

Esta técnica permite la detección de corrosión, delaminado, roturas, puntos calientes, etc.

En la tabla se muestran los fallos comunes que es posible detectar en las partes del módulo:

| COMPONENTE DEL PANEL       | FALLO DETECTADO   |
|----------------------------|---|
| Parte Frontal del Panel    | Burbujas, delaminación, decoloración (zonas amarillas o marrones) |
| Células Fotovoltaicas      | Células rotas, dañadas o agrietadas, antirreflejante descolorido  |
| Contactos metálicos célula | Oxidado o quemado   |
| Marco                      | Doblado, roto, rayado, desalineado                                |
| Parte Posterior del Panel  | Delaminado, burbujas, coloración amarillenta, rasguños            |
| Caja de Conexiones         | Conexiones desajustadas, oxidación, corrosión                     |
| Cables y Conectores        | Desprendimiento, partes eléctricas frágiles                       |

**Tabla 8.** Inspección Visual. Componentes y fallos (47)

**MEDIDAS I/V Y REVISIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA:**

El cálculo de medidas de tensión e intensidad sobre el panel se puede realizar in-situ pero se recomienda llevarlo a cabo en laboratorio para tomar las medidas bajo las condiciones óptimas de temperatura, radiación, etc.

A partir de la toma de estas medidas se realiza la curva característica que permite detectar anomalías en los diodos, en la transparencia de las placas, errores de corrosión, delaminación, rotura, etc. (47)

#### 4.5. Análisis de la Aptitud para la Reutilización de un Módulo

Como se ha indicado anteriormente, este estudio se centra en el análisis de módulos de silicio mono y policristalino.

Con el fin de facilitar la toma de decisión sobre la aptitud de un módulo de cara a su reutilización, se han elaborado una serie de fichas de evaluación consecutiva recogidas en el Anexo 1 cuyo contenido se especificará más adelante:

- Ficha 1: Inspección Visual. Identificación y Chequeo inicial del panel
- Ficha 2: Medidas de I/V. Revisión de la curva característica del panel
- Ficha 3: Resultado de los ensayos. Comprobación de los requisitos mínimos de calidad

El procedimiento de análisis de aptitud de los módulos es el siguiente:

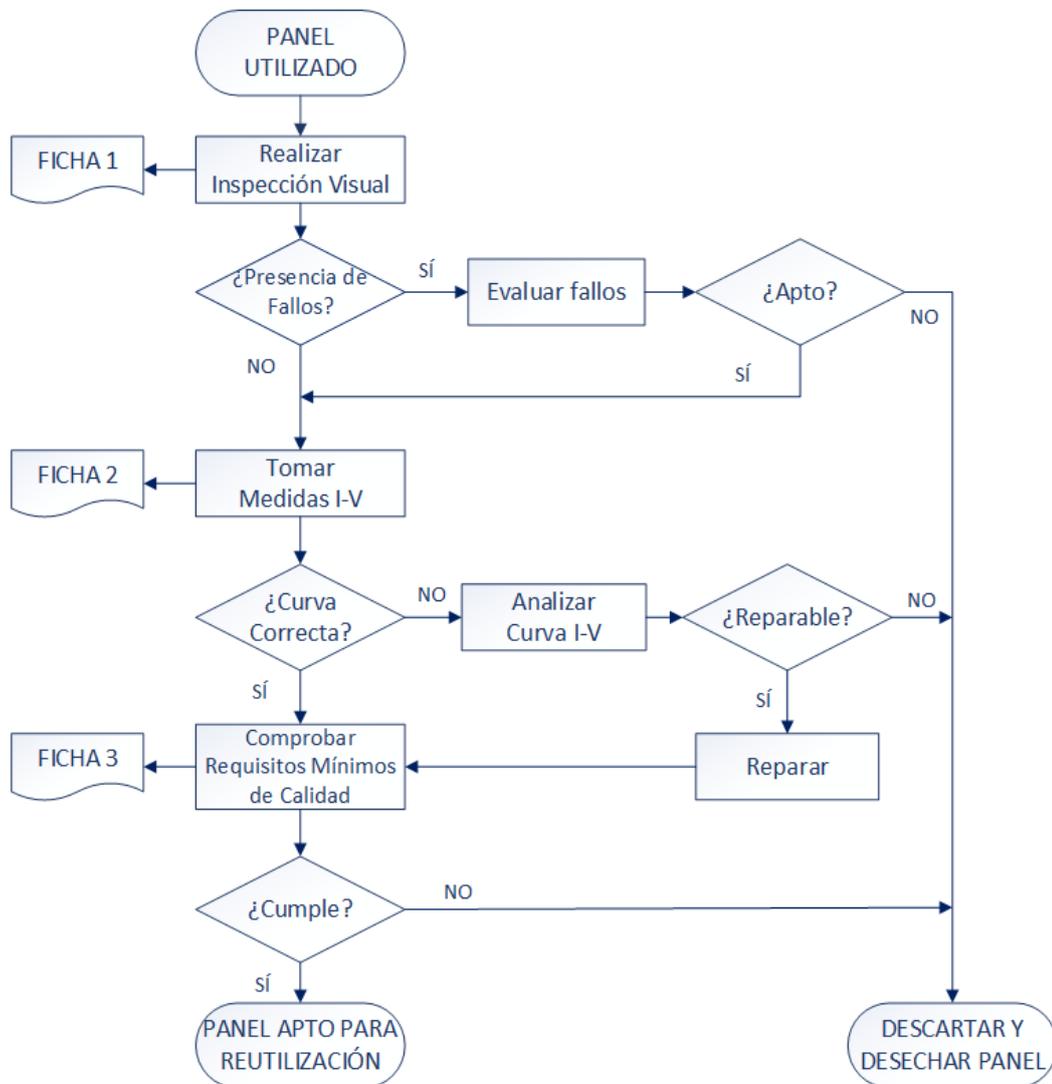


Ilustración 65. Diagrama de Flujo del Procedimiento de Análisis de Aptitud de un Panel FV

### 4.5.1. Inspección Visual

El primer paso para la evaluación de aptitud de los módulos es la Inspección Visual. Mediante este método se busca detectar errores generales de las partes del módulo.

El procedimiento de realización de este ensayo sigue la normativa especificada en *UNE-EN 61215 (MQT 01)*.

La inspección debe ser realizada por una persona cualificada.

Se recomienda realizar el ensayo con un buen nivel de iluminación (superior a los 1000 lux) y un plano de trabajo adecuado a la comodidad del técnico.

Las condiciones de ensayo no requieren de material específico, pero se recomienda el uso de una cámara digital con buena resolución y capacidad de enfoque y una lupa para analizar los defectos con mayor precisión.

El tiempo estimado de ensayo es de 5-10 minutos.

La realización de la inspección visual se documentará mediante la Ficha 1.

#### 4.5.1.1. Identificación y Chequeo Inicial del Panel (Ficha 1)

En la *Ficha 1 (Ver Anexo 1)* se recogen los datos básicos del panel (material, tamaño, potencia, etc.), así como aquella información derivada de su uso anterior y la causa de su retirada.

La finalidad de esta ficha es asignar un identificador a cada panel para realizar una evaluación inicial basada en la inspección visual y descartar los paneles que, por los errores que presentan, no se encuentran en condiciones de ser reparados.

La ficha 1 realiza la evaluación de las siguientes partes de los módulos:

1. Marco, encapsulados y protector posterior
2. Células Fotovoltaicas
3. Caja de conexiones, conectores y cableado

Si al completar la *Ficha 1*, la evaluación no presenta ningún error, nos encontramos ante un panel susceptible de reutilización y será sometido a estudios posteriores para determinar la posibilidad de su uso.

Si por lo contrario, un panel sobre el que se ha realizado una inspección visual presenta alguno de estos fallos, se debe consultar el error que presenta para evaluar la posibilidad de su reparación.

Cuando tras consultar el error que presenta el panel, éste resulta “apto” quiere decir que ha superado la inspección visual, por lo que resulta reparable y debe ser sometido a la siguiente evaluación: Toma de medidas de I/V.

## 4.5.1.2. Evaluación de Fallos

Según el informe “Revisión de los fallos de los Módulos Fotovoltaicos” (47) elaborado por la Agencia Internacional de la Energía (IEA) los fallos apreciables de la inspección visual que causan problemas de seguridad o potencia y su respectiva calificación (indicada en 4.3.1 y 4.3.2) se recogen en la siguiente tabla:

|   |
|---|
| <b>1. MARCO, ENCAPSULADOS Y PROTECTOR POSTERIOR</b> |
|---|

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN                                    | SEGURIDAD | POTENCIA |
|--------|--|-----------|----------|
| 111    | Marco doblado o desalineado                    | B (m, e)  | A        |
| 112    | Marco roto o rayado                            | B (m, e)  | A        |
| 113    | Cubierta de cristal fracturada                 | B (e)     | D/E      |
| 114    | Burbujas en parte frontal del panel            | C (e)     | D/E      |
| 115    | Delaminado en parte frontal del panel          | B (e)     | D/E      |
| 116    | Delaminado en parte posterior del panel        | B/C (e)   | D        |
| 117    | Decoloración de EVA                            | B(f)      | C        |
| 118    | Marcas de quemaduras parte frontal del panel   | B (f,e,m) | D/E      |
| 119    | Marcas de quemaduras parte posterior del panel | B (f,e,m) | D/E      |
| 120    | Snail Trails. Humedad en el encapsulado        | B (f)     | C        |

|                                 |
|---------------------------------|
| <b>2. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS</b> |
|---------------------------------|

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN                                     | SEGURIDAD | POTENCIA |
|--------|---|-----------|----------|
| 121    | Células rotas o dañadas                         | B (e,m)   | A        |
| 122    | Fragmento de células laminadas en el módulo     | B         | A        |
| 123    | Células agrietadas                              | A         | D/E      |
| 124    | Decoloración de las células                     | B(f)      | D        |
| 125    | Contactos metálicos oxidados o quemados         | B (f,e,m) | D/E      |
| 126    | Desconexión de celdas y cintas de Interconexión | A         | C        |

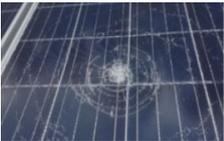
|   |
|---|
| <b>3. CAJA DE CONEXIONES, CONECTORES Y CABLEADO</b> |
|---|

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN                                     | SEGURIDAD | POTENCIA |
|--------|---|-----------|----------|
| 131    | Caja de conexiones presenta oxidación/corrosión | B (m,e)   | A        |
| 132    | Fallo en el diodo de bypass                     | B (f)     | A        |
| 133    | Conexiones dañadas o desajustadas               | B (m,e)   | A        |
| 134    | Cableado del panel en contacto elementos        | B (f)     | A        |

**Tabla 9.** Calificación de la afección sobre la seguridad y la potencia de los fallos de un panel FV (Adaptación de las Tab.5.1.2 y Tab 5.1.3 de (47))

La evaluación de errores y posibilidad de reparación según código de fallo se indica a continuación:

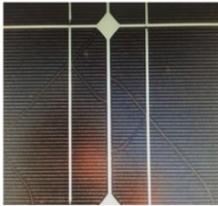
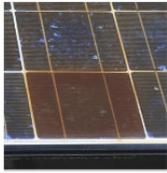
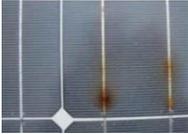
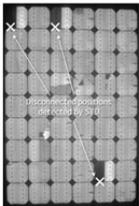
1. MARCO, ENCAPSULADOS Y PROTECTOR POSTERIOR

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN   | IMAGEN   | APTO |
|--------|---|--|------|
| 111    | Marco doblado o desalineado   |    | NO   |
|        | Estos fallos sobre un panel causan la fragilidad de los adhesivos que unen las capas del panel y pueden dar lugar a problemas de potencia y seguridad           |  |      |
| 112    | Marco roto o rayado   |    | SÍ   |
|        | Se debe realizar un estudio de la potencia para concluir si el fallo afecta al funcionamiento del panel o es únicamente estético                                |  |      |
| 113    | Cubierta de cristal fracturada  |  | NO   |
|        | Se produce a causa de un factor externo e implica la rotura del vidrio, de las celdas, encapsulados, etc.   |  |      |
| 114    | Burbujas en parte frontal del panel   |  | NO   |
|        | Se producen cuando la temperatura ha resultado demasiado alta/baja durante el proceso de laminación y el panel no ha quedado totalmente sellado                 |  |      |
| 115    | Delaminado en parte frontal del panel   |  | NO   |
|        | Consiste en la pérdida de adhesión entre el vidrio, el encapsulante y las capas del panel. La delaminación implica la posterior entrada de humedad y corrosión. |  |      |

|     |  |  |           |
|-----|--|--|-----------|
| 116 | Delaminado en parte posterior del panel  |    | <b>NO</b> |
|     | <p>Consiste en la pérdida de adhesión entre el vidrio, el encapsulante y las capas del panel. La delaminación implica la posterior entrada de humedad y corrosión.</p>   |  |           |
| 117 | Decoloración de EVA  |    | <b>SÍ</b> |
|     | <p>Este tipo de fallo se considera un problema generalmente estético. La degradación de la potencia de los módulos que sufren este fallo es del 0,5-0,8%.</p>  |  |           |
| 118 | Marcas de quemaduras en la parte frontal del panel   |   | <b>NO</b> |
|     | <p>Pueden ocurrir en cualquier interconexión de metal-semiconductor o entre metales. A veces se producen por defectos en la soldadura. Pueden producir arcos eléctricos e incluso incendios</p>                          |  |           |
| 119 | Marcas de quemaduras en la parte posterior del panel   |  | <b>SÍ</b> |
|     | <p>Generalmente se deben a problemas en el diodo de bypass. Revisar y reparar diodo.</p>   |  |           |
| 120 | Snail Trails. Humedad en el encapsulado  |  | <b>NO</b> |
|     | <p>La decoloración ocurre en el borde de la célula solar y a lo largo de grietas. Sucede de forma lenta y da lugar a partes de la célula inactivas. Un área inactiva del 50% conduce a la pérdida de 1/3 de potencia</p> |  |           |

**Tabla 10.** Inspección Visual - Descripción de Fallos en Marco, Encapsulado y Protector Posterior

2. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN  | IMAGEN   | APTO |
|--------|--|--|------|
| 121    | Células rotas o dañadas  |    | NO   |
|        | Este defecto muchas veces no da lugar a pérdida de potencia en el panel pero sí pone el sistema en riesgo de seguridad.  |  |      |
| 122    | Fragmento de células laminadas en el módulo  |    | NO   |
|        | El funcionamiento general del módulo se ve afectado.   |  |      |
| 123    | Células agrietadas   |   | NO   |
|        | Las grietas celulares se pueden formar en distintas orientaciones y tener diferentes longitudes. A veces se originan en la fabricación de los módulos. Este defecto se propaga y da lugar a la acelerada pérdida de potencia |  |      |
| 124    | Decoloración de las células  |  | NO   |
|        | Se produce cuando no existe una distribución uniforme de calor a lo largo del panel. Este defecto origina el sobrecalentamiento de una parte en concreto del panel.  |  |      |
| 125    | Contactos metálicos oxidados o quemados  |  | NO   |
|        | A veces se producen por defectos en la soldadura. Pueden producir arcos eléctricos e incluso incendios   |  |      |
| 126    | Desconexión de celdas y cintas de Interconexión  |  | SÍ   |
|        | Los módulos tienen un número de células interconectadas en serie mediante cintas. Si la conexión se debilita se produce pérdida de potencia. Se deben realizar medidas I/V para cuantificar esta pérdida                     |  |      |

**Tabla 11.** Inspección Visual - Descripción de fallos en Células Fotovoltaicas

3. CAJA DE CONEXIONES, CONECTORES Y CABLEADO

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN  | IMAGEN   | APTO |
|--------|--|--|------|
| 131    | Caja de conexiones presenta oxidación o corrosión  |    | NO   |
|        | Ocurre cuando la caja está mal cerrada por un defecto de fabricación o por mala fijación de los adhesivos. La entrada de humedad produce corrosión en las conexiones. Su reparación supondría un coste muy elevado |  |      |
| 132    | Fallo en el diodo de bypass  |    | sí   |
|        | A veces produce marcas de quemaduras en la parte posterior del panel. La reparación es sencilla, basta con sustituir el diodo por uno nuevo. Se deben comprobar curvas I/V.  |  |      |
| 133    | Conexiones dañadas o desajustadas  |  | sí   |
|        | Producen pérdida de potencia y riesgo de seguridad. Comprobar conectores y sustituir por otros nuevos si es necesario  |  |      |
| 134    | Cableado del panel en contacto con otros elementos   |  | sí   |
|        | Al producirse el contacto entre el cableado del módulo y el diodo u otros elementos se crea un riesgo de arcos eléctricos. La reparación es sencilla, basta con la correcta colocación de protecciones.            |  |      |

**Tabla 12.** Inspección Visual - Descripción de Fallos en Caja de Conexiones, Conectores y Cableado

#### 4.5.2. Determinación de Características Eléctricas

Para comprobar el funcionamiento eléctrico de un módulo, se toman medidas de intensidad y voltaje que permitan dibujar la curva característica del panel y analizarla para obtener conclusiones.

Las mediciones de voltaje e intensidad de un panel determinan los valores de:

- Corriente de cortocircuito:  $I_{sc}$
- Tensión en circuito abierto:  $V_{oc}$
- Tensión y voltaje a potencia máxima:  $V_M$  e  $I_M$
- Potencia máxima:  $P_M$

La realización de estas mediciones se documentará en la *Ficha 2 (Ver Anexo 1)*.

Una vez completada esta ficha, se traza la curva característica I-V del panel y se realiza el estudio del efecto de los fallos sobre la curva IV.

##### 4.5.2.1. Toma de Medidas de Intensidad-Voltaje (Ficha 2)

El procedimiento de ensayo para la toma de estas medidas, está regulado por la normativa *UNE-EN 61215 (MQT 02) (48)* y consiste en someter al panel a unas condiciones estándar de irradiancia de entre 700 y 1100 W/m<sup>2</sup>, temperatura de la célula de entre 25°C - 50°C.

El ensayo se puede realizar en el exterior o en el interior, en función de la fuente de radiación elegida (solar o artificial).

Se recomienda la realización en un laboratorio para poder mantener los parámetros de luz y temperatura constantes durante las mediciones.

El material necesario (según la normativa) para realizar este ensayo es el siguiente:

- Fuente de radiación (luz natural o simulador solar de clase BBA)
- Piranómetro: para medir la radiación solar (en caso de realización en el exterior)
- Instrumentos de medida: multímetro
- Sensor de temperatura
- Soporte adecuado para la sujeción del dispositivo de ensayo
- Alimentación eléctrica variable

Las mediciones deben ser tomadas por un técnico especializado y recogidas en la *Ficha 2 (Anexo 1)*.

En caso de no realizar las mediciones bajo las condiciones estándar determinadas (suele ocurrir en ensayos realizados en el exterior), se deben realizar correcciones sobre los resultados.

El tiempo de realización estimado es de 20-60 minutos.

#### 4.5.2.2. Efecto de los Fallos sobre la Curva I-V

Una vez tomadas las medidas de tensión e intensidad y trazada la curva característica, se estudian sobre ella las siguientes cuestiones para poder obtener información sobre los fallos del módulo:

- A. Si no disponemos de los valores eléctricos indicados por el fabricante, podemos evaluar la curva teniendo en cuenta los siguientes parámetros (Ver *Tabla 13*):
- La corriente  $I_{sc}$  está relacionada con el área de la celda, la tecnología y las conexiones de la celda en el módulo.
  - El voltaje  $V_{oc}$  está relacionado con la tecnología de la celda y la conexión de la celda dentro del módulo.
  - El Factor de llenado (FF) es el esperado en función de la tecnología del módulo.
  - La forma de la curva revela dos defectos diferentes;
    - ✓ Partes de la celda inactivas debido a microgrietas
    - ✓ Cortocircuitos debidos al diodo de bypass

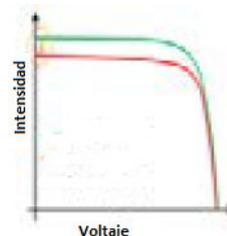
|          |   | Silicio Monocristalino | Silicio Policristalino | Valor Esperado Panel FV           |
|----------|---|------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| $J_{sc}$ | Densidad de corriente [mA/cm <sup>2</sup> ] | 30-35                  | 28-33                  | Área Célula*Densidad de corriente |
| $V_{oc}$ | Voltaje a circuito abierto [mV]             | 600-700                | 550-600                | NºCélulas en serie*Voc            |
| FF       | Factor de llenado                           | 0,80-0-85              | 0,75-0,80              | -                                 |

**Tabla 13. Valores Eléctricos Típicos Curvas I-V (47)**

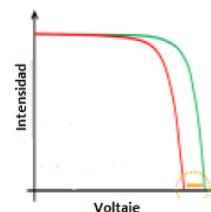
- B. Si disponemos de los datos eléctricos especificados por el fabricante, se comparan los resultados obtenidos de las mediciones con las indicaciones para deducir posibles fallos o problemas técnicos.
- C. Si tenemos una curva I-V calculada anteriormente sobre el módulo estudiado, realizada en condiciones semejantes, es posible realizar una comparación para detectar los fallos y problemas que se puedan haber producido.

Según el *Informe de Fallos de los paneles Fotovoltaicos* elaborado por Agencia Internacional de la Energía (IEA) (47), las desviaciones comunes de la curva I-V trazada con respecto a la curva característica esperada y los problemas derivados de estas observaciones se indican a continuación:

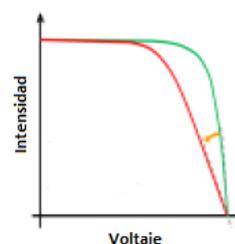
S1. Una corriente de cortocircuito inferior al valor de  $I_{sc}$  esperado se debe en la mayoría de los casos a problemas de decoloración del encapsulado, de delaminación entre las capas o a una corrosión del vidrio que reduce la captura de luz del módulo.



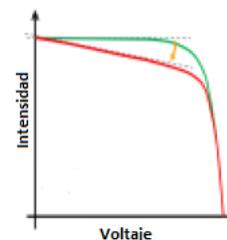
S2. La curva I-V tiene un valor  $V_{oc}$  más bajo de lo esperado. Este fallo se debe a problemas en las interconexiones de las celdas, cortocircuitos celda a celda o fallo del diodo de bypass.



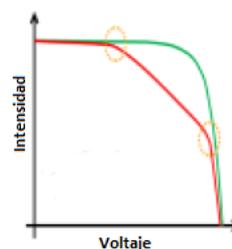
S3. En este caso, la pendiente de la curva I-V toma un valor de  $V_{oc}$  menor. Esto se debe a un aumento de la resistencia en serie en el módulo FV. La resistencia en serie podría haber aumentado al crecer la resistencia de las interconexiones, a problemas de desajuste de las conexiones o a corrosión en la caja de conexiones.



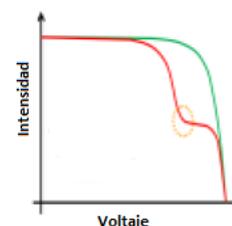
S4. La inclinación de la curva I-V muestra una reducción del valor de intensidad. Esto se produce por una reducción de la resistencia de derivación por problemas en las interconexiones. También se puede deber a un ligero desajuste celular o decoloración no uniforme.



S5. Aparecen cambios de pendiente. En este caso se combinan los resultados de los casos S3 y S4. Se deben revisar las interconexiones y el ajuste de las conexiones.



S6. La curva I-V combina las gráficas para los casos anteriores y muestra puntos de inflexión. Las razones de este fallo se deben comúnmente a problemas en el diodo de bypass o a células dañadas.



En la siguiente tabla se muestran de forma esquemática los errores derivados de cada caso:

| FALLO   | SEGURIDAD | POTENCIA | P <sub>máx</sub> | S1:<br>I <sub>sc</sub> | S2:<br>V <sub>oc</sub> | S3:<br>R <sub>oc</sub> | S4:<br>R <sub>sc</sub> | S5 | S6 |
|---|-----------|----------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----|----|
| Diodo de by-pass desconectado                     | B         | A        |                  |                        |                        |                        |                        |    |    |
| Cortocircuito en diodo de by-pass                 | B         | E        | X                |                        | X                      |                        |                        |    |    |
| Diodo de by-pass invertido                        | B         | E        | X                |                        | X                      |                        |                        |    |    |
| Pérdida homogénea de transparencia                | A         | C        | X                | X                      |                        |                        |                        |    |    |
| Pérdida heterogénea de transparencia              | A         | E        | X                | X                      |                        |                        | X                      |    | X  |
| Corrosión homogénea del vidrio                    | A         | D        | X                | X                      |                        |                        |                        |    |    |
| Corrosión heterogénea del vidrio                  | A         | D        | X                | X                      |                        |                        | X                      |    | X  |
| Delaminación homogénea                            | B         | D        | X                | X                      |                        |                        |                        |    |    |
| Delaminación heterogénea                          | B         | D        | X                | X                      |                        |                        | X                      |    | X  |
| Corrosión homogénea del encapsulante              | B         | C        | X                | X                      |                        |                        |                        |    |    |
| Corrosión heterogénea del encapsulante            | B         | C        | X                | X                      |                        |                        |                        | X  |    |
| Degradación pasiva                                | A         | D        | X                |                        | X                      |                        |                        |    |    |
| Degradación por polarización inducida             | A         | C        | X                |                        | X                      |                        |                        | X  |    |
| Degradación inducida por la luz                   | A         | D        | X                | X                      | X                      |                        |                        |    |    |
| Células en cortocircuito. Problemas interconexión | A         | E        | X                |                        | X                      |                        |                        |    |    |
| Corrosión en las soldaduras                       | A         | C        | X                |                        |                        | X                      |                        |    |    |
| Desconexiones en las soldaduras                   | B         | E        | X                |                        |                        | X                      |                        |    |    |
| Cintas de interconexión de células rotas          | B         | E        | X                |                        |                        | X                      |                        |    | X  |
| Células Agrietadas                                | A         | E        | X                | X                      |                        |                        |                        |    | X  |

**Tabla 14.** Clasificación de fallos en las Curvas I-V. “Modelos S” (Adaptación de Tabla 5.2.2 de (47))

El criterio de decisión de los módulos aptos para su reutilización tras haber superado la inspección visual y haber sido sometidos a medidas de I-V es el siguiente:

- S1: Los paneles que muestren una curva semejante a S1 serán descartados ya que los problemas debidos a decoloración, corrosión, delaminación y células agrietadas presentan riesgos para la seguridad, problemas importantes de pérdida de potencia. Su reparación es complicada y costosa.
- S2: Los paneles cuya curva se asemeje al caso S2, es decir, que presenten problemas en el diodo de bypass, serán reparados de inmediato. Es decir, se sustituirá el diodo de by-pass por uno nuevo y se tomarán de nuevo las mediciones I-V para comprobar su funcionamiento.
- S3: Si el problema del panel se debe a la corrosión de las soldaduras, es posible su segundo uso, ya que, aunque su potencia sea inferior, no existe riesgo de seguridad. Si por el contrario, el problema se debe a desconexión de las soldaduras o a la rotura de las cintas de interconexión, el panel debe ser desechado.
- S4: Si el módulo presenta una curva de tipo S4, será descartado por presentar problemas de degradación de potencia saturada o a saltos.
- S5: Una corrosión en el encapsulante presenta problemas de seguridad e implica el descarte del panel. Si el problema se debe a la degradación por polarización inducida, puede seguir utilizándose el módulo aunque su degradación será lineal en el tiempo.
- S6: El panel será desechado ya que el panel tiene diversos errores por causas distintas y presenta problemas de potencia y seguridad.

#### 4.5.2.3. Reparación del panel

Tras el estudio de fallos detectables mediante inspección visual y evaluables mediante toma de medidas de intensidad y voltaje se procede a la correspondiente reparación.

El único error reparable contemplado en este proyecto es la sustitución del diodo de by-pass. Los motivos de considerar esta única reparación se deben a que operación de sustitución de este elemento por uno nuevo es relativamente sencilla y barata.

Otras reparaciones posibles sobre los paneles resultan más caras en cuanto a material y mano de obra necesaria y proporcionan resultados poco fiables.

La detección de problemas en el diodo de by-pass es prácticamente inmediata. Se detecta mediante inspección visual si el panel muestra marcas de quemaduras en la parte trasera. Además, al tomar medidas I-V su valor de voltaje a circuito abierto es inferior al esperado.

#### 4.5.3. Resultados de la Evaluación y Comprobación de Requisitos Mínimos de Calidad (Ficha 3)

Una vez realizada la inspección visual, la toma de medidas de intensidad y voltaje sobre un panel y su correspondiente reparación (en caso de resultar necesaria), se debe comprobar el cumplimiento de unos requisitos mínimos de calidad para que su reutilización sea exitosa.

Este paso se documentará en la *Ficha 3 (Ver Anexo 1)*.

Los requisitos mínimos exigibles a un panel de segunda mano son los siguientes:

- Factor de seguridad A (Ver *Tabla 9*), es decir, que no cause ningún tipo de inseguridad sobre el sistema o los usuarios.
- Factor de Potencia de clase A, B o C (Ver *Tabla 6*), es decir, la pérdida de potencia aceptable no puede ser saturada en el tiempo ni presentar degradación a saltos ni de tipología variable.
- Rendimiento superior al 90%.

En caso de no cumplir alguno de estos tres requisitos el panel será NO APTO para su reutilización y será descartado.

#### 4.6. Costes de Reutilización

Una vez definidas las condiciones bajo las que un panel es candidato a reutilización, procedemos a un estudio de los costes derivados del análisis de aptitud, el transporte y la reparación.

La finalidad de este estudio de costes es la comparación del resultado obtenido con el precio de adquisición de un panel nuevo.

Partimos de paneles desechados por grandes empresas. En otras condiciones estos paneles habrían sido transportados a un punto limpio, por lo que suponemos un valor bajo del coste de adquisición.

Para realizar una estimación del coste por panel apto estudiamos un lote de 100 paneles. Para facilitar los cálculos, se explican a continuación los costes debidos a cada etapa del proceso y su obtención.

##### ✓ Inspección Visual:

En primer lugar se realiza la inspección visual. Este proceso lo realiza un técnico especializado en un tiempo estimado de 5 minutos por panel. Se realizará in-situ, es decir, el técnico se desplazará hasta el lugar en el que se encuentren los paneles desechados.

Calculamos que por cada 100 paneles inspeccionados sólo 25 de ellos son aptos para pasar al siguiente proceso de aptitud por no presentar fallos o porque los fallos, tras ser evaluados, no suponen problemas de seguridad o potencia graves como para ser rechazados.

La inspección visual de los 100 paneles mencionados se realiza en un tiempo de 1000 minutos (100 paneles\*10 min/panel). Es decir, 8,33 horas de trabajo de un técnico.

La tarifa del técnico para la revisión de paneles es de 36 €/hora más un plus de 40€ por desplazamiento.

El coste total de este proceso se obtiene de multiplicar el coste de inspección (€/hora) por el tiempo total (horas) y sumarle el desplazamiento.

##### ✓ Adquisición de los paneles:

Los paneles que resultan aptos a la inspección visual son comprados a la empresa a un precio unitario de 8€.

El coste total de adquirir los paneles es de 200 € (25 paneles x 8€/panel).

✓ Transporte:

Una vez adquiridos, los paneles deben ser transportados al laboratorio para realizar sobre ellos la toma de medidas de intensidad y voltaje en las condiciones óptimas de ensayo indicadas en el *Apartado 4.5.2.1*.

Los costes de transporte se estiman de la siguiente forma:

- El modelo de panel tomado como referencia tiene un peso de 26kg. Los 25 paneles tomados de ejemplo suponen 650 kg.
- Las dimensiones del panel de referencia son 2000mm x 992mm x 40mm. El volumen de los 25 paneles es de 2m<sup>3</sup>.
- Dado que las instalaciones estudiadas se sitúan en la Zona IV (*Ilustración 50*) y es una franja geográfica media en España se tomará como referencia un transporte de módulos a una distancia máxima de 300 km.
- Por lo tanto queremos transportar una carga de 650 kg y 2 m<sup>3</sup> durante un trayecto de máximo 300 km por carretera.
- Para un palé de estas características durante el trayecto mencionado se supone un coste total aproximado de 120 €.

El transporte se realizará mediante una agencia dedicada a esta actividad.

✓ Toma de medidas de I-V:

Para estimar los costes de la toma de medidas de intensidad y voltaje se cuenta con un técnico cualificado que realizará los ensayos en un laboratorio preparado para tal fin. La tarifa del técnico para estos ensayos es de 42 €/hora. No existe ningún plus por desplazamiento.

De los paneles estudiados en este ensayo se estima que resultan aptos aproximadamente un 72% de los seleccionados tras la inspección visual. Es decir, si estudiamos los 25 paneles sólo 18 de ellos resultarán aptos.

De los paneles aptos, el 50% requerirán reparación. Es decir, 9 de los 18 tomados en el ejemplo.

✓ Reparación de paneles:

La única reparación de paneles contemplada en este proyecto es la sustitución del diodo de bypass. Esta tarea es realizada por un técnico en un tiempo de 10 minutos por unidad cambiada. La tarifa del técnico es de 42 €/hora.

✓ Desechar paneles no aptos:

Los paneles transportados al laboratorio que resultan no aptos tras la toma de medidas de intensidad y voltaje, deben ser desechados. Para ello, son trasladados al punto limpio más cercano.

De los 25 paneles recibidos en el laboratorio, 7 de ellos no son aptos (18%).

El peso total de los paneles no aptos es de 182 kg (26 kg/panel \*7 paneles).

El punto limpio se encuentra a una distancia aproximada de 10 km.

Esta tarea será realizada por una empresa dedicada a esta actividad y supondrá un coste aproximado de 14€.

❖ **RESULTADOS DEL ESTUDIO DE REUTILIZACIÓN**

Del estudio de la muestra de 100 paneles se han obtenido como resultado 18 paneles aptos. El número de paneles que resulta apto de cada etapa se muestra en la siguiente tabla:

| ESTUDIO PARA LA REUTILIZACIÓN - 100 PANELES |           |            |           |
|---|-----------|------------|-----------|
| ETAPA                                       | % APTITUD | Nº PANELES |           |
|   |           | INICIAL    | FINAL     |
| Inspección Visual                           | 25        | 100        | 25        |
| Adquisición                                 | -         |            | 25        |
| Transporte                                  | -         |            | 25        |
| Toma de Medidas I-V                         | 72        | 25         | <b>18</b> |

\* El 50% de los paneles APTOS requieren reparación

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| TOTAL PANELES ANALIZADOS   | 100       |
| TOTAL PANELES NO APTOS     | 82        |
| <b>TOTAL PANELES APTOS</b> | <b>18</b> |

**Tabla 15.** Estudio para la Reutilización - 100 Paneles

A continuación se muestra el desglose de los cálculos para cada una de las etapas del estudio de reutilización de una muestra de 100 paneles así como el coste total estimado por etapa.

| INSPECCIÓN VISUAL |                    |                            |                  |                 |           |                  |                 |
|-------------------|--------------------|----------------------------|------------------|-----------------|-----------|------------------|-----------------|
| Nº Paneles        | Tiempo (Min/Panel) | Tiempo 100 Paneles (Horas) | Técnico (€/Hora) | Desplaza m. (€) | % Aptitud | Nº Paneles Aptos | Coste Total (€) |
| 100               | 5                  | 8,33                       | 35               | 40              | 25        | <b>25</b>        | <b>340,00</b>   |

| ADQUISICIÓN + TRANSPORTE DE PANELES |                  |                           |                       |                   |                 |            |                 |
|-------------------------------------|------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|------------|-----------------|
| Nº Paneles                          | Coste Transporte |                           |                       | Coste Adquisición |                 | Nº Paneles | Coste Total (€) |
|                                     | Peso Total (Kg)  | Distancia Máx. Aprox (km) | Coste Total Aprox (€) | Precio (€/ ud.)   | Coste Total (€) |            |                 |
| 25                                  | 650              | 300                       | 120                   | 8                 | 200             | 25         | 320,00          |

| TOMA DE MEDIDAS |                    |                           |                  |                 |           |                  |                 |
|-----------------|--------------------|---------------------------|------------------|-----------------|-----------|------------------|-----------------|
| Nº Paneles      | Tiempo (Min/Panel) | Tiempo 25 Paneles (Horas) | Técnico (€/Hora) | Desplaza m. (€) | % Aptitud | Nº Paneles Aptos | Coste Total (€) |
| 25              | 20                 | 8,33                      | 42               | 0               | 72        | 18               | 350,00          |

| REPARACIÓN DE PANELES |                     |                      |                               |                   |                  |                      |                 |
|-----------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|----------------------|-----------------|
| Nº Paneles            | % Paneles a Reparar | Nº Paneles a reparar | Material =Diodo de By-pass(€) | Tiempo / Ud (min) | Técnico (€/Hora) | Nº Paneles Reparados | Coste Total (€) |
| 18                    | 50                  | 9                    | 0,50                          | 10                | 42               | 9                    | 67,50           |

| DESECHAR PANELES NO APTOS |                  |                 |                       |                     |                        |                       |                 |
|---------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|
| Nº Paneles                | Peso (Kg/ Panel) | Peso Total (Kg) | Distancia Aprox. (km) | Coste Por panel (€) | Coste Total Aprox. (€) | Nº Paneles Desechados | Coste Total (€) |
| 7                         | 26               | 182             | 10                    | 2                   | 14                     | 7                     | 14,00           |

|                                |  |  |  |  |  |  |                 |
|--------------------------------|--|--|--|--|--|--|-----------------|
| <b>Coste Total Proceso (€)</b> |  |  |  |  |  |  | <b>1.091,50</b> |
|--------------------------------|--|--|--|--|--|--|-----------------|

|                                     |  |  |  |  |  |  |              |
|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--------------|
| <b>Coste Total / Panel Apto (€)</b> |  |  |  |  |  |  | <b>60,64</b> |
|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--------------|

*Tabla 16. Coste por Etapas y Coste Total de Reutilización por panel apto*

Del análisis de aptitud y la compra, transporte y reparación de paneles desechados para una muestra de estudio de 100 paneles se ha estimado un coste por panel apto de 60,64 €.

Este valor se ha obtenido dividiendo el coste total del proceso entre el número de paneles aptos (1.091,50 €/18 paneles=60,64 €/panel) y será utilizado durante este proyecto en el análisis de la viabilidad económica para instalaciones realizadas a partir de paneles reutilizados.

## 5. ESTUDIO ECONÓMICO

En este capítulo se definen las condiciones económicas en las que se va a realizar el proyecto: la forma de inversión, financiación y periodo del proyecto que se utilizarán como base para el cálculo casos prácticos de pequeñas instalaciones fotovoltaicas en el *Capítulo 6*.

Además, se explica el cálculo de flujos de caja y se introducen conceptos económicos para realizar análisis de rentabilidad.

### 5.1. Inversión Inicial

El desembolso inicial en activos para realizar una instalación fotovoltaica debe contener los siguientes elementos:

| INVERSIÓN INICIAL                                       |
|---|
| - Sistema Fotovoltaico                                  |
| · Paneles fotovoltaicos                                 |
| · Inversor  |
| · Contador  |
| · Protecciones  |
| · Estructura de Soporte                                 |
| · Cuadro Eléctrico, Cableado, conexiones, etc.          |
| - Obra Civil, Instalación y Puesta en Marcha            |
| - Monitorización y Gestión del Sistema                  |
| - Ingeniería: Documentación Técnica y Dirección de Obra |
| - Tramitación   |

**Tabla 17.** *Inversión Inicial de una Instalación Fotovoltaica*

En este proyecto se estudiarán instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo conectadas a la red con vertido de excedentes acogido a compensación.

Las instalaciones se situarán sobre el tejado de edificios ya adquiridos. Por este motivo no se considerará en la inversión inicial ni el uso de baterías ni la adquisición del terreno.

El presupuesto de la inversión inicial de las instalaciones analizadas en este proyecto tiene en cuenta los costes debidos a:

1. Sistema fotovoltaico
2. Obra Civil, Instalación y puesta en marcha
3. Monitorización y gestión del sistema.
4. Ingeniería: Elaboración de documentación técnica y Dirección de Obra
5. Tramitación

## 1) SISTEMA FOTOVOLTAICO

Los elementos que se incluyen en el sistema fotovoltaico son los siguientes:

- Paneles:

Se estudiará la alternativa de nueva adquisición o reutilización de paneles en cada caso práctico.

- Inversor:

Debe adaptarse a la potencia del sistema. Se seleccionará el inversor apropiado para el caso práctico de estudio.

- Contador:

El sistema cuenta con un contador bidireccional para la medida del consumo propio y de la energía vertida a la red

- Cuadro de Protecciones:

Se incorpora al sistema un cuadro con las protecciones adecuadas para la conexión a red.

- Estructura de soporte:

La estructura de soporte aporta consistencia mecánica y anclaje a los elementos del sistema y proporciona la orientación e inclinación óptima.

- Cuadro eléctrico, cableado, conexiones, etc.:

En este apartado se incluyen los elementos eléctricos del sistema.

Las especificaciones técnicas de los elementos del sistema se indicarán en la exposición de casos prácticos en el *Capítulo 6*.

## 2) OBRA CIVIL, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

Se considerará el montaje de las estructuras de soporte sobre el tejado del edificio.

Este apartado refleja los presupuestos debidos a la instalación de módulos, inversores y demás elementos así como del montaje del cuadro eléctrico, el cableado, las conexiones, etc.

### 3) MONITORIZACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA

La monitorización de la instalación fotovoltaica, consiste en una unidad que capta datos de medición del estado y funcionamiento, realiza diagnósticos para el control de la instalación y la supervisión energética.

### 4) INGENIERÍA: ELABORACIÓN DE DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Y DIRECCIÓN DE OBRA

Los costes de elaboración del proyecto y de dirección de obra suponen un porcentaje del total del presupuesto.

Para los casos prácticos estudiados, los costes derivados de la elaboración de documentación técnica y de la dirección de obra se han considerado del 8% y del 3% respectivamente sobre el total del presupuesto de ejecución material (sin incluir los costes de tramitación).

### 5) TRAMITACIÓN

Para que la instalación fotovoltaica sea legal y pueda comenzar su actividad, debe realizar, entre otros, los siguientes trámites:

- Solicitud de punto de conexión a red
- Autorización administrativa.
- Licencia de obra y de actividad
- Trámites de puesta en marcha

## 5.2. Financiación

La inversión inicial se realizará de la siguiente forma:

- Se considerará un 20% del presupuesto final financiado a partir de fondos propios.
- El 80% del presupuesto final se financiará mediante un préstamo.
- No se considerará ningún porcentaje sobre la inversión financiado mediante subvenciones.

Las condiciones del préstamo se indican a continuación:

- El plazo será de 10 años
- El interés del préstamo se fija en un 2%
- La amortización será lineal

### 5.3. Horizonte Temporal

El horizonte temporal es el periodo de tiempo para el que se considera la inversión.

Teniendo en cuenta que el proyecto sobre el que se trabaja es la reutilización de paneles y que estos ya han consumido parte de su vida útil, el horizonte temporal considerado no puede superar el tiempo de vida útil máximo estimado para un panel.

Para los cálculos realizados en el desarrollo de este proyecto se establece un horizonte temporal de 10 años.

No obstante, para las instalaciones realizadas a partir de paneles nuevos se indicarán los resultados para un periodo de 25 años y para las de paneles reutilizados se mostrarán valores para 15 años.

En la realización de cálculos se ha considerado el “Año 0”, periodo para el cual se considera el desembolso inicial. El año 1 inicia al comenzar la actividad productiva de la instalación.

### 5.4. Flujo de Caja

El flujo de caja o *cash flow* es un informe financiero que presenta en detalle la diferencia entre ingresos y gastos para un periodo de tiempo.

El objetivo de elaborar el flujo de caja de un proyecto es ofrecer una visión real del estado de la empresa o proyecto que se evalúe y cuantificar las entradas y salidas de caja.

La elaboración de un flujo de caja se realiza mediante una tabla en la que se disponen de forma vertical (columnas) los períodos y de forma horizontal (filas) los resultados de las entradas y salidas de dinero.

|                                      | 1 | 2 | ... | N |
|--------------------------------------|---|---|-----|---|
| INGRESOS                             |   |   |     |   |
| (-)GASTOS                            |   |   |     |   |
| <b>(=) MARGEN OPERACIÓN (EBITDA)</b> |   |   |     |   |
| (-)AMORTIZACIONES                    |   |   |     |   |
| <b>(=)BAIT o EBIT</b>                |   |   |     |   |
| (-) INTERESES                        |   |   |     |   |
| <b>(=)BAT</b>                        |   |   |     |   |
| (-)IMPUESTOS                         |   |   |     |   |
| <b>(=) BENEFICIO NETO</b>            |   |   |     |   |
| <b>CASH FLOW</b>                     |   |   |     |   |

Tabla 18. Tabla para el Cálculo de los Flujos de Caja

- **Ingresos:** Dinero ingresado por la actividad productiva. Para evaluar el proyecto de una instalación fotovoltaica, los ingresos serán nulos en el periodo en el que se considere la ejecución de la instalación (Año 0) y tomarán valores positivos al comenzar la actividad productiva. Este ingreso se corresponde con el ahorro eléctrico que supone el autoconsumo de electricidad. Al tratarse de un sistema conectado a la red con vertido de excedentes sujetos a compensación, al ahorro del autoconsumo debe sumarse el ingreso percibido por los excesos de generación de energía inyectados.
- **Gastos:** Cantidad de dinero que sale. En un proyecto de instalación fotovoltaica se consideran gastos: el desembolso inicial en el primer periodo y los gastos derivados de la explotación de la instalación (mantenimiento y operación) y del seguro (será contratado ante posibles robos o errores en la instalación). Los gastos de mantenimiento y operación se consideran valores fijos de 60€/año para la instalación de 5kW y de 100€/año para la instalación de 20 kW. El seguro supondrá un 0,2% sobre el coste de la instalación (sin IVA) y se estimará un aumento del 3% anual.
- **EBITDA:** Indicador financiero que se obtiene como resultado de la operación de restar los gastos a los ingresos sin considerar las amortizaciones, depreciaciones e impuestos. Sus siglas se corresponden a “*Earnings Before Interest Taxes Depreciation and Amortization*”.
- **Amortizaciones:** Pérdida de valor de los activos en el tiempo.
- **BAIT o EBIT:** Resultado de restar la amortización al EBITDA. Beneficio obtenido de la actividad productiva antes de considerar los intereses e impuestos.
- **Intereses:** Porcentaje sobre el BAIT que se debe pagar como compensación a un préstamo. El préstamo solicitado tiene un tipo de interés del 2% durante 10 años con amortización lineal de la deuda.
- **BAT:** Resultado de restar los intereses al EBIT.
- **Impuestos:** Cantidad monetaria que se debe pagar al estado en concepto del beneficio generado por la explotación de la instalación. Se calcula multiplicando el BAT por la tasa impositiva. Desde la eliminación del llamado “impuesto al sol” (Real Decreto-Ley 15/2018 (45)) la producción de energía fotovoltaica para autoconsumo está exenta de impuestos específicos en el territorio nacional.

Los impuestos que se deben pagar en este tipo de instalaciones son el IVA y el impuesto eléctrico de la toma de energía eléctrica de la red.

- **Beneficio Neto:** Resultado de la cuenta de restar los impuestos al BAT.
- **Cash Flow:** Flujo de Caja. Balance monetario del resultado del sumatorio neto de ingresos, gastos, intereses e impuestos. Se corresponde con el beneficio neto sin tener en cuenta las amortizaciones.

### 5.5. Viabilidad Económica: VAN, TIR y Pay-Back

Con el fin de estudiar la viabilidad económica de la reutilización de paneles, resulta necesario introducir conceptos económicos que analizan la evaluación de inversiones.

Existen muchas herramientas para el cálculo de la rentabilidad de un proyecto: VAN, TIR, pay-back, pay-back descontado, índice de rentabilidad, EVA (Valor económico agregado), etc.

El VAN y la TIR son los dos métodos más utilizados para calcular resultados sobre la rentabilidad de un proyecto y facilitar así la toma de decisiones de inversión.

Las siglas de VAN y TIR responden a “Valor Actual Neto” y “Tasa Interna de Retorno” respectivamente.

Además de estos métodos, el pay-back o periodo de recuperación permite estimar el tiempo que se necesita para recuperar la inversión inicial.

En este apartado, se explicarán estas herramientas, su utilidad y cálculo.

#### **VALOR ACTUAL NETO (VAN):**

El VAN es una herramienta de inversión que consiste en actualizar y calcular los flujos de caja futuros (ingresos y gastos). Es decir, trae al presente los flujos de caja esperados teniendo en cuenta el tipo de interés.

Para calcular el VAN se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k)} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n}$$

**Ecuación 4.** Fórmula para calcular el VAN de una inversión

Los componentes de la ecuación son:

- **A:** Inversión inicial. Tiene en cuenta los activos fijos y el inicial del circulante, es decir, es el desembolso debido a terrenos, maquinaria, obra civil, estudios previos, circulante, etc.
- **Q<sub>i</sub>:** Flujos de caja estimados por cada año. Resultado del beneficio final teniendo en cuenta los ingresos, gastos, impuestos, amortizaciones, etc.
- **n:** Horizonte temporal del proyecto; es decir, número de años para los que se calcula recuperar la inversión inicial.
- **k:** Tasa de descuento. Es el valor de actualización e indica la rentabilidad de una inversión alternativa de riesgo similar.

La finalidad de utilizar esta herramienta es la toma de decisión sobre una inversión en función del tiempo en la que se desea recuperar el desembolso inicial teniendo en cuenta la actualización en el tiempo del tipo de interés (k).

El criterio de decisión de esta herramienta es el siguiente:

- $VAN < 0 \rightarrow$  NO VIABLE
- $VAN = 0 \rightarrow$  La inversión no produce pérdidas ni ganancias
- $VAN > 0 \rightarrow$  VIABLE

Si obtenemos un resultado negativo para el VAN, significa que la inversión producirá pérdidas y no alcanza la rentabilidad exigida. En este caso se debería rechazar el proyecto.

Si el resultado de calcular el VAN es igual a cero, la inversión no aporta valor monetario superior a la rentabilidad exigida. La decisión de llevar a cabo o no el proyecto debe basarse en otros criterios que no sean la obtención de beneficio.

Si por el contrario, el VAN es positivo, la inversión produce ganancias por encima de la rentabilidad exigida. El proyecto debe aceptarse ya que sí es capaz de crear valor.

### **TASA INTERNA DE RETORNO (TIR):**

El cálculo de la TIR ofrece una medida de la tasa de descuento que se obtiene de un proyecto cuando el VAN es como mínimo igual a la inversión.

Es decir, la TIR proporciona una medida porcentual complementaria al VAN cuando éste toma un valor nulo.

Para calcular la TIR se iguala a 0 el VAN y se despeja el valor de "r" (r=TIR):

$$VAN(r) = -A + \frac{Q_1}{(1+r)} + \frac{Q_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+r)^n} = 0$$

$$r = TIR$$

**Ecuación 5. Fórmulas para el cálculo de la TIR de una inversión**

Una vez obtenido el valor de la TIR, el criterio de decisión para la aceptación o rechazo de la inversión se obtiene de la comparación con “k” (tasa de descuento utilizada en el VAN):

- $TIR < k \rightarrow$  No se alcanza la rentabilidad mínima exigida a la inversión.
- $TIR = k \rightarrow$  La inversión no tiene rentabilidad positiva ni negativa
- $TIR > k \rightarrow$  La tasa de rendimiento interno obtenida es superior a la rentabilidad mínima exigida

Según este criterio, si la TIR es inferior a la tasa de descuento el proyecto deberá ser rechazado. Si la TIR tiene el mismo valor que la tasa de descuento la inversión podrá llevarse a cabo pero no existirá creación de valor.

Si por el contrario, la TIR toma un valor superior a la tasa de descuento el proyecto deberá ser aceptado.

**PAY-BACK Y PAY-BACK DESCONTADO:**

El pay-back o plazo de recuperación es un criterio de evaluación de inversiones que proporciona resultados sobre el tiempo de recuperación de la inversión inicial.

Este indicador se calcula dividiendo la inversión inicial entre el flujo de caja medio por periodo.

El pay-back descontado proporciona la estimación del plazo de recuperación de la inversión pero utiliza para su cálculo los flujos de caja descontados. De esta forma se obtiene el resultado teniendo en cuenta el valor de actualización del dinero en el tiempo.

En el presente proyecto se estimará el plazo de recuperación a partir de los flujos de caja descontados (Pay-back descontado).

## 6. CASOS PRÁCTICOS

---

En este capítulo se presentan y comparan los casos de dos instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo conectadas a la red con vertido de excedentes.

Los casos de instalaciones se supondrán, en primer lugar, realizadas a partir de paneles nuevos y, más adelante, se supone su construcción a partir de los paneles desechados que han resultado aptos para su reutilización una vez realizada su evaluación según las indicaciones del *Apartado 4.5*. De esta forma se analizará desde el punto de vista económico la posibilidad de ofrecerles un segundo uso.

El primer caso se trata de una instalación de 5 kW situada en el tejado de una vivienda unifamiliar. El objetivo de esta instalación es la producción de energía eléctrica para satisfacer las necesidades de consumo propio de la vivienda.

El segundo caso será una instalación de 20 kW de potencia nominal situada en el tejado de un edificio residencial. La finalidad de esta instalación es el autoconsumo compartido, es decir, abastecer las necesidades eléctricas de alumbrado de las zonas comunes y otros elementos eléctricos de uso compartido en una comunidad de vecinos: ascensor, puerta del garaje, etc.

Para facilitar la nomenclatura, los ejemplos para cada caso se enumeran de la siguiente forma:

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| <b>CASO 1: Instalación Fotovoltaica de 5kW</b>  | EJEMPLO 5A: Paneles Nuevos        |
|   | EJEMPLO 5B: Paneles Reutilizados  |
| <b>CASO 2: Instalación Fotovoltaica de 20kW</b> | EJEMPLO 20A: Paneles Nuevos       |
|   | EJEMPLO 20B: Paneles Reutilizados |

**Tabla 19.** Organización de Casos y Ejemplos

El número de cada ejemplo se corresponde con la potencia de la instalación y la letra define si se ha realizado a partir de paneles nuevos (A) y reutilizados (B).

## 6.1. Consideraciones Iniciales

La evaluación de casos prácticos del presente trabajo se centra en el estudio de instalaciones conectadas a la red de potencia inferior a 100 kW. Este tipo de instalaciones se enmarcan en la normativa impuesta por el Real Decreto 244/2019 (1).

En primer lugar se explicarán las condiciones iniciales de las instalaciones a estudiar: las características técnicas de los equipos, la obra civil e instalación de elementos, la elaboración de documentación técnica y dirección de la obra y los aspectos legales.

Más adelante se expondrán los casos de dos instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo conectadas a la red de potencia 5 kW y 20 kW respectivamente.

En cada uno de los casos se comienza con un primer ejemplo en el que se realizan los cálculos económicos suponiendo la realización de la instalación mediante paneles nuevos y, más adelante, se efectuarán los cálculos de la misma instalación a partir de paneles reutilizados.

Para ambos ejemplos se ha considerado la instalación sobre un tejado plano libre de sombras de un edificio de la zona geográfica IV según especificaciones del CTE (Ver *Ilustración 54. Mapa de Radiación Solar en España por zonas Ilustración 54*).

No se contempla el uso de baterías ni existen costes debidos a adquisición del terreno.

El coste debido a la inversión inicial se supondrá financiable en un 20% mediante fondos propios y el 80% restante mediante financiación externa.

No se considera ningún porcentaje sobre el desembolso inicial de la instalación financiable mediante subvenciones.

Se trata de una instalación con excedentes sujetos a compensación por su inyección sobre la red. Por este motivo, se producen ingresos adicionales que se cuantificarán y sumarán al ahorro principal.

Los cálculos realizados para cada uno de los ejemplos realizados se encuentran en el *Anexo III: Cálculos*.

### 6.1.1. Características Técnicas de los Equipos

Las características comunes de los elementos que forman parte de las instalaciones estudiadas en este proyecto se indican a continuación:

➤ **PANELES FOTOVOLTAICOS:**

El generador fotovoltaico está formado por una serie de módulos conectados entre sí que recogen la radiación solar y generan energía eléctrica en corriente continua.

El número de paneles y la potencia suministrada por ellos depende de si son de nueva adquisición o de segundo uso y será indicada para cada caso de estudio.

➤ **INVERSOR:**

El inversor es el equipo que transforma la corriente continua en corriente alterna con la tensión y frecuencia adecuada para ser autoconsumida.

Se seleccionará un inversor para cada uno de los casos adaptado a las características de la instalación.

➤ **ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN:**

Los elementos de seguridad y protección son dispositivos encargados de proteger a las instalaciones eléctricas y a los usuarios al producirse perturbaciones en el sistema debidas a: sobrecorrientes, cortocircuitos, sobretensiones o contactos indirectos.

El sistema cuenta con un cuadro de protecciones en el que se encuentra un interruptor diferencial (desactiva el circuito si se produce una derivación de corriente) y un interruptor general magnetotérmico para proteger de sobreintensidades.

Se instalan este tipo de elementos para proteger el sistema tanto en continua como en alterna.

➤ **CONTADOR:**

El sistema estudiado cuenta un contador bidireccional. Al operar en una dirección mide la energía generada e inyectada en la red para su posterior remuneración, y cuando opera en sentido contrario, cuantifica el consumo en kWh en ausencia de radiación solar.

➤ **ESTRUCTURA DE SOPORTE:**

La estructura de soporte se encarga de aportar consistencia mecánica y anclaje así como de proporcionar al sistema la orientación e inclinación óptima.

La estructura de soporte instalada está preparada para resistir las sobrecargas de viento y nieve y permitir las dilataciones térmicas necesarias sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los paneles.

Además, se ha realizado teniendo en cuenta la facilidad de montaje y desmontaje para la posible posterior sustitución de elementos.

➤ **CABLEADO Y CONEXIONES:**

El cableado está formado por un conjunto de conductores de cobre con protecciones UV para protegerlo de los agentes meteorológicos, la luz ultravioleta y el deterioro mecánico.

➤ **MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA:**

La monitorización de la instalación fotovoltaica, consiste en una unidad que capta datos de medición del estado y funcionamiento del sistema y se conecta a internet para poder mostrar remotamente la generación de los paneles, el consumo de la instalación, etc.

También realiza diagnósticos para el control y la gestión de errores.

### 6.1.2. Obra Civil e Instalación de Elementos

Los trabajos de obra civil e instalación incluyen lo siguiente:

- Mediciones de la red
- Montaje de estructuras
- Instalación de todos los equipos
- Conexión la red interior del propietario y a la red de distribución eléctrica
- Puesta en marcha

La instalación cumplirá las recomendaciones de los fabricantes de los equipos.

La ejecución de todos los trabajos considera las precauciones y medidas de seguridad necesarias para su desarrollo así como el cumplimiento de la legislación y regulación aplicable en cada momento.

Los residuos resultantes de la actividad serán retirados al finalizar la ejecución de los trabajos.

### 6.1.3. Ingeniería: Elaboración de Documentación Técnica y Dirección de Obra

La elaboración de la memoria técnica de la instalación incluye la documentación necesaria para su realización. Este estudio debe ser realizado por una persona cualificada.

La parte de dirección de obra incluye el correcto desarrollo de la ejecución del trabajo de acuerdo a los aspectos técnicos, estéticos, medioambientales del proyecto que lo define.

### 6.1.4. Legalización

En el apartado de legalización se incluyen todos los trámites de aplicación a este tipo de instalaciones. Entre estos trámites se incluyen:

- Licencia de obras
- Certificados de instalación
- Contrato de compensación de excedentes
- Inscripción en el registro autonómico de autoconsumo
- Trámites de puesta en marcha
- Permiso de acceso y punto de conexión a red (sólo para instalaciones de potencia superior a 15 kW. Caso 2)

La normativa de aplicación a este tipo de instalaciones es la siguiente:

- ✓ Real Decreto 244/2019 por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica (1)
- ✓ Real Decreto-ley 15/2018, medidas urgentes para la transición energética. (45)
- ✓ Real Decreto 1699/2011, regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. (41)
- ✓ Real Decreto 1955/2000, regula las actividades de transporte, comercialización, distribución, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. (39)
- ✓ Real Decreto 314/2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (50)
- ✓ Real Decreto 842/2002. Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias. (51)
- ✓ Ley 24/2013 del Sector Eléctrico. (52)
- ✓ Real Decreto 900/2015, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. (53)

### 6.1.5. Compensación de Excedentes

La compensación de excedentes de autoconsumo puede realizarse mediante compensación simplificada o mediante venta de excedentes.

La compensación simplificada consiste en que la comercializadora con la que se tiene efectuado el contrato, compensa los excedentes producidos en forma de ahorro en la factura de la luz de forma mensual. Las comercializadoras tienen definidos por ley los valores económicos de los excedentes.

Se define como “simplificada” porque no debe realizarse ningún tipo de procedimiento adicional al registro estándar de la instalación de autoconsumo. Tampoco debe realizar liquidaciones de IVA, ya que la compensación simplificada no se considera una actividad económica.

Las condiciones para poder acogerse a este mecanismo de compensación son las siguientes:

- La instalación generadora es de fuente renovable
- La potencia de la instalación es igual o inferior a 100 kW.
- Se suscribe un contrato de compensación de excedentes entre productor y consumidor
- La instalación no tiene otorgado un régimen retributivo adicional específico.

El valor económico de los excedentes a compensar no puede ser superior al importe del término de energía antes de impuestos. Además, la compensación se realiza de forma mensual y no es acumulable.

Para la modalidad de autoconsumo con excedentes sin compensación simplificada, es decir, la venta de excedentes no es necesario que la instalación sea inferior a 100 kW. Esta modalidad permite vender todos los excedentes sin límite mensual. Sin embargo, es necesario darse de alta como productor de energía y hacer frente a trámites fiscales y administrativos. Además, ya que la finalidad de los excedentes estimados es la venta y no el autoconsumo, la venta debe soportar el impuesto de Generación (7%) y realizar declaraciones trimestrales del IVA. (54)

Para los casos de estudio del presente proyecto se considerarán instalaciones de autoconsumo conectadas a la red con excedentes acogidas a compensación.

## 6.2. CASO 1: Instalación Fotovoltaica Conectada a Red de 5 kW

### 6.2.1. EJEMPLO 5A: Paneles Nuevos

El primer caso práctico tiene por objetivo realizar una instalación solar fotovoltaica de 5 kW conectada a la red mediante paneles nuevos. Para ello se efectuará el montaje de 15 paneles de 330 Wp.

La potencia pico de la instalación es, por lo tanto, de 4950 W, pero este valor sólo será alcanzado en condiciones ideales de radiación 1000W/m<sup>2</sup> y 25°C de temperatura en los paneles.

Las características principales de la instalación a construir son las siguientes:

| EJEMPLO 5A - CARACTERÍSTICAS GENERALES |              |
|--|--------------|
| Tipo de Superficie                     | Tejado plano |
| Inclinación                            | 30°          |
| Orientación                            | Sur          |
| Zona Geográfica                        | Zona IV      |
| Potencia pico instalada                | 4,95 kW      |
| Potencia por panel                     | 330 Wp       |
| Nº Paneles                             | 15           |
| Potencia Inversor                      | 5 kW         |

**Tabla 20.** Ejemplo 5A - Características Generales

El generador fotovoltaico estará formado por paneles de silicio policristalino. El modelo de panel elegido es del fabricante Yingli Solar, se compone de 72 células y ofrece una potencia de 330 Wp.

El inversor seleccionado para este caso práctico es el modelo Sunny Boy del fabricante SMA.

Las especificaciones de las características del modelo de módulo y del inversor seleccionado se encuentran en las correspondientes fichas técnicas adjuntas en el *Anexo II* de este proyecto.

6.2.1.1. Inversión Inicial

El presupuesto de inversión inicial para la instalación de 5 KW a partir de paneles de nueva adquisición es el siguiente:

| <b>EJEMPLO 5A - Presupuesto Instalación Fotovoltaica 5 kW</b>               |          |               |                   |
|---|----------|---------------|-------------------|
| <b>SISTEMA FOTOVOTAICO</b>  | Cantidad | Precio (€/ud) | Precio TOTAL      |
| Paneles Fotovoltaicos (YINGLI Solar 330Wp)                                  | 15       | 130,00 €      | 1950,00 €         |
| Inversor (Sunny Boy SMA)  | 1        | 1.050,00 €    | 1.050,00 €        |
| Protecciones  | 1        | 100,00 €      | 100,00 €          |
| Contador  | 1        | 150,00 €      | 150,00 €          |
| Estructura de Soporte   | 1        | 400,00 €      | 400,00 €          |
| Cuadro eléctrico, cableado, conexiones, etc                                 | 1        | 350,00 €      | 350,00 €          |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>4.000,00 €</b> |
| <b>OBRA CIVIL, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA</b>                           |          |               |                   |
| Mano de Obra Montaje Estructura, Instalación Equipos, Cableado y Conexiones |          |               | 600,00 €          |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>600,00 €</b>   |
| <b>MONITORIZACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA</b>                                 |          |               |                   |
| Sistema de monitorización y gestión   |          |               | 100,00 €          |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>100,00 €</b>   |
| <b>INGENIERÍA: DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Y DIRECCIÓN DE OBRA</b>                |          |               |                   |
| Realización del proyecto (8% PEM)   |          |               | 376,00 €          |
| Dirección de Obra (3% PEM)  |          |               | 141,00 €          |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>517,00 €</b>   |
| <b>TRAMITACIÓN</b>  |          |               |                   |
| Gestión y tramitación de permisos, licencias y conexión a red               |          |               | 150,00 €          |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>150,00 €</b>   |
| <b>TOTAL</b>  |          |               | <b>5.367,00 €</b> |
| <b>IVA (21%)</b>  |          |               | <b>1.127,07 €</b> |
| <b>PRESUPUESTO TOTAL</b>  |          |               | <b>6.494,07 €</b> |

Tabla 21. Ejemplo 5A - Presupuesto Inversión Inicial

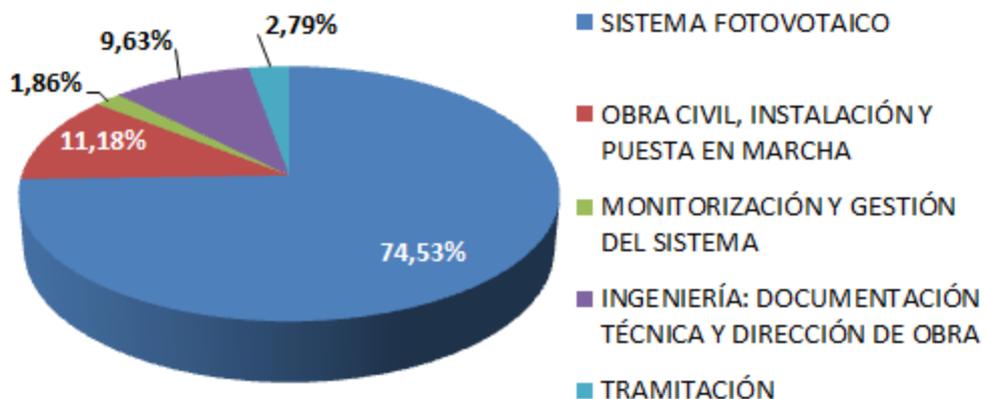


Ilustración 66. Ejemplo 5A - Diagrama Distribución del Presupuesto

### 6.2.1.2. Financiación

La financiación de la instalación se efectuará de la siguiente forma:

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| <b>Presupuesto total</b>    | 6.494,07 €          |
| <b>Fondos propios (20%)</b> | 1.298,81 €          |
| <b>Préstamo (80%)</b>       | 5.195,26 €          |
| <b>Tipo de interés</b>      | 2,00%               |
| <b>Años Crédito</b>         | 10                  |
| <b>Forma de liquidación</b> | Amortización Lineal |

**Tabla 22.** Ejemplo 5A – Financiación

El valor del préstamo es, por tanto, de 5.195,26€. Se indica a continuación su devolución:

| AÑO | PRINCIPAL | INTERESES | CUOTA ANUAL | DEUDA VIVA |
|-----|-----------|-----------|-------------|------------|
| 0   | 0,00 €    | 0,00 €    | 0,00 €      | 0,00 €     |
| 1   | 519,53 €  | 103,91 €  | 623,43 €    | 4.675,73 € |
| 2   | 519,53 €  | 93,51 €   | 613,04 €    | 4.156,20 € |
| 3   | 519,53 €  | 83,12 €   | 602,65 €    | 3.636,68 € |
| 4   | 519,53 €  | 72,73 €   | 592,26 €    | 3.117,15 € |
| 5   | 519,53 €  | 62,34 €   | 581,87 €    | 2.597,63 € |
| 6   | 519,53 €  | 51,95 €   | 571,48 €    | 2.078,10 € |
| 7   | 519,53 €  | 41,56 €   | 561,09 €    | 1.558,58 € |
| 8   | 519,53 €  | 31,17 €   | 550,70 €    | 1.039,05 € |
| 9   | 519,53 €  | 20,78 €   | 540,31 €    | 519,53 €   |
| 10  | 519,53 €  | 10,39 €   | 529,92 €    | 0,00 €     |

**Tabla 23.** Ejemplo 5A - Devolución Préstamo

### 6.2.1.3. Amortizaciones

La amortización tiene en cuenta la pérdida de valor de un activo en el tiempo.

Para estimar este valor, se divide el coste de adquisición entre el número de años que dura el activo.

El coste de adquisición considerado de estos activos es el indicado en el presupuesto de inversión inicial (*Apartado 6.2.1.1*).

El tiempo de amortización estimado es de 25 años para los elementos del sistema fotovoltaico y 10 años para el equipo de monitorización.

Para este caso las amortizaciones se indican en la siguiente tabla:

| ACTIVO                                      | AMORTIZACIÓN |               |                    |
|---|--------------|---------------|--------------------|
|   | Valor        | Tiempo (Años) | Amortización ANUAL |
| Paneles Fotovoltaicos (YINGLI Solar 330Wp)  | 1.950,00 €   | 25            | 78,00 €            |
| Inversor (Sunny Boy SMA)                    | 1.050,00 €   | 25            | 42,00 €            |
| Protecciones                                | 100,00 €     | 25            | 4,00 €             |
| Contador                                    | 150,00 €     | 25            | 6,00 €             |
| Estructura de Soporte                       | 400,00 €     | 25            | 16,00 €            |
| Cuadro eléctrico, cableado, conexiones, etc | 350,00 €     | 25            | 14,00 €            |
| Sistema de Monitorización y Gestión         | 100,00 €     | 10            | 10,00 €            |
| <b>TOTAL</b>                                |              |               | <b>170,00 €</b>    |

**Tabla 24.** Ejemplo 5A - Amortizaciones

#### 6.2.1.4. Ahorros

Se define como ahorro para los casos prácticos expuestos, la cantidad de dinero evitada mediante la generación de energía eléctrica para autoconsumo.

El ahorro anual obtenido de la instalación se debe al ahorro de energía que se habría comprado en caso de no producirla. Se obtiene multiplicando el precio de venta de la energía producida por la producción estimada.

Al tratarse de un sistema conectado a la red con vertido de excedentes acogidos a compensación, al ahorro del autoconsumo debe sumarse la compensación percibida por los excesos de generación de energía inyectados a la red. Este ahorro se cuantifica en la factura de la luz de forma mensual.

Para obtener de forma orientativa un cálculo de la energía producida se ha utilizado el programa PVGIS. Se trata de un software online abierto desarrollado por la Unión Europea en el que, a partir de la introducción de una serie de valores de la instalación fotovoltaica, proporciona información de la generación obtenida. (55). Los datos introducidos han sido los siguientes:

| DATOS INTRODUCIDOS      | VALOR              |
|-------------------------|--------------------|
| Ubicación [Lat/Lon]     | (39.492, -1.104)   |
| Horizonte               | Calculado          |
| Base de datos utilizada | PVGIS-CMSAF        |
| Tecnología Fotovoltaica | Silicio Cristalino |
| PV instalado [kWp]      | 4,95               |
| Pérdida del sistema [%] | 14                 |
| Ángulo de inclinación   | 30                 |
| Ángulo de Acimut        | 0                  |

**Tabla 25.** Ejemplo 5A - Datos proporcionados a PVGIS

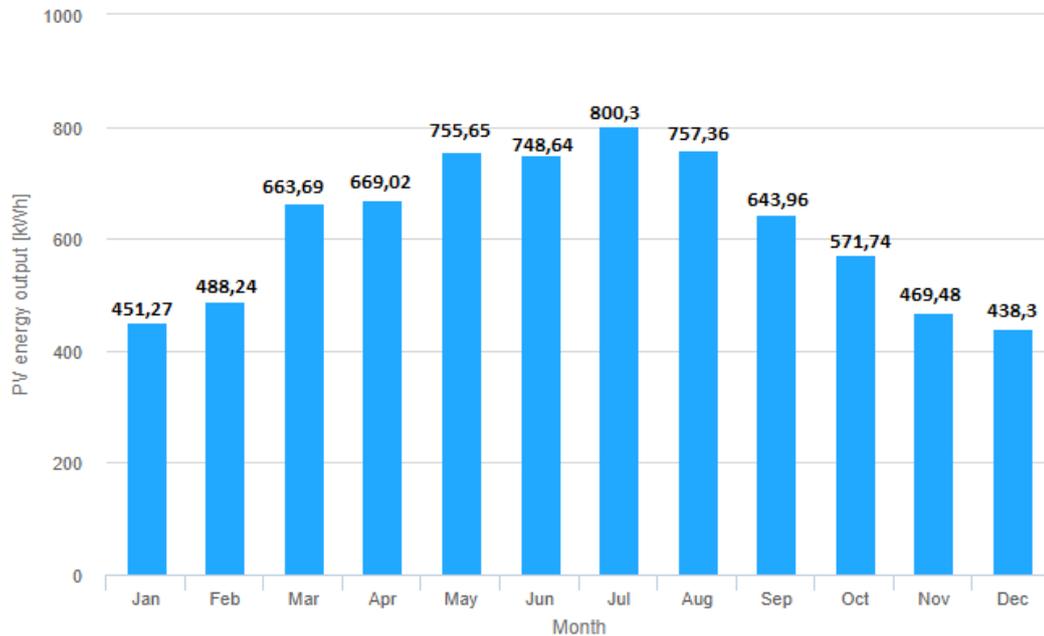
Se ha tomado como ubicación un punto aleatorio del mapa situado en la zona IV geográfica. Este valor de ubicación será la referencia para futuros estudios. La pérdida del sistema se ha seleccionado del 14% por valores estándar estimados para este tipo de instalaciones. En cálculos futuros se supondrá este valor también.

Resultado obtenido:

| SALIDAS DE SIMULACIÓN                               | VALOR   |
|---|---------|
| Producción anual de Energía FV [kWh]                | 7457,66 |
| Irradiación anual en el plano [kWh/m <sup>2</sup> ] | 2000,4  |
| Variabilidad año a año [kWh]                        | 233,54  |
| Cambios en la producción debidos a:                 |         |
| · Ángulo de incidencia [%]                          | -2,69   |
| · Efectos espectrales[%]                            | 0,55    |
| · Temperatura y baja irradiancia[%]                 | -10,5   |
| Pérdida Total [%]                                   | -24,69  |

**Tabla 26.** Ejemplo 5A - Datos de salida calculados por PVGIS

Además de esta información, el programa proporciona una gráfica de la producción de energía mensual del sistema fotovoltaico:



**Ilustración 67.** Ejemplo 5A - Producción de energía mensual (por PVGIS)

Utilizando esta información podemos calcular los ahorros de la instalación. Para ello se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- Pérdidas debidas a la degradación de los paneles: Como se indicó en el *Apartado 2.5* cada año los paneles fotovoltaicos sufren una degradación de sus células que implican la reducción de la generación eléctrica. Estas pérdidas anuales serán contabilizadas en la generación de ingresos.  
La tasa de degradación será, según la *Tabla 2*, del 0,64% pues estamos trabajando con paneles de silicio policristalino de nueva adquisición.
- IPC: Índice de precios al consumidor. El valor medio del IPC del año 2019 según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) (56) es del 0.8%. Durante el mes de enero del 2020 ha sido del 1.1% y las previsiones de este año estiman un aumento con respecto al año pasado. Por este motivo, para realizar los cálculos se tomará un valor del IPC del 1%.
- Consumo Eléctrico: Para poder calcular los excedentes de producción de energía eléctrica se debe conocer el consumo eléctrico medio de la vivienda.  
Este consumo medio se estima en 4488 kWh anuales.
- Excedente de Producción: Este valor se obtiene de la resta (Producción-Consumo). En caso de obtenerse un valor negativo, la producción para el autoconsumo no resultaría suficiente y sería necesaria la obtención de energía de la red.
- Precio del kWh de generación: El valor de referencia tomado es de 0,1198 €/kWh (sin IVA). Este valor es el ofertado por la compañía *Endesa* en la tarifa “*One Luz 2.0 DHA*” sin discriminación horaria (57). Las características de contrato de esta tarifa son las siguientes:

| Características Tarifa One Luz (Endesa) |                      |
|---|----------------------|
| Potencia                                | 5 kW                 |
| Peaje de acceso                         | 38,043426 €/kW y año |
| Término de potencia                     | 3,429702 €/kW y mes  |
| Término de energía                      | 0,119893 €/kWh       |

**Tabla 27.** Ejemplo 5A - Datos tarifa eléctrica contratada

A partir de este dato podemos cuantificar el ahorro debido a la generación de energía.

- Término de potencia: Es el precio por kW de potencia contratada y se paga mensualmente.  
No supone un ahorro ya que se trata de una instalación conectada a la red y forma parte del término fijo.  
Para el caso estudiado, la potencia contratada son 5kW por lo que el término de potencia anual será:  $(5\text{kW}) \cdot (3,429702 \text{ €/kW y mes}) \cdot (12 \text{ meses/año}) = 205,78212 \text{ €/año}$ .
- Peaje de acceso: Es el precio regulado por el gobierno que se paga de forma anual y se debe a costes de transporte, distribución y seguridad del abastecimiento eléctrico.  
El peaje de acceso considerado de la contratación de potencia no es un ahorro ya que forma parte del término fijo.  
El peaje de acceso para la energía consumida es de: 0,044027 €/kWh.
- Alquiler de equipo de medida: En la instalación se dispone de un equipo de medida propio. Por este motivo no se debe pagar por el alquiler de este sistema. El precio de *Endesa* por este servicio es de 0,02659 €/día.  
Al no tener que alquilar este equipo se produce un ahorro.  
El valor anual de este ahorro será:  $(0,02659 \text{ €/día}) \cdot (365 \text{ días/año}) = 9,70535 \text{ €/año}$ .
- Precio de compensación simplificada de los excedentes: El valor del precio de compensación de excedentes tomado como referencia es el ofrecido por la compañía *Holaluz* para la compensación de excedentes producidos y es de 0,054 €/kWh.
- Impuesto eléctrico: El impuesto eléctrico se calcula como ahorro al autoconsumir la energía producida. Supone un 5,11% del ahorro debido a la producción de energía.
- IVA: El IVA se considera tanto en el cálculo del ahorro debido al autoconsumo. Se aplica el IVA general del 21%.

Teniendo en cuenta estos factores, podemos calcular los ahorros anuales producidos mediante la actividad de la instalación fotovoltaica.

En primer lugar calculo la producción teniendo en cuenta la pérdida de eficiencia de los paneles con el tiempo. De esta producción se deducen los kWh de autoconsumo y los kWh excedentes.

| PRODUCCIÓN. AUTOCONSUMO Y EXCEDENTES |                           |  |                  |                   |                  |
|--------------------------------------|---------------------------|--|------------------|-------------------|------------------|
| AÑO                                  | Pérdida de Eficiencia (%) | Pérdida de Producción por Eficiencia (kWh) | Producción (kWh) | Autoconsumo (kWh) | Excedentes (kWh) |
| 0                                    | 0                         | 0  | 0                | 0                 | 0                |
| 1                                    | 0,64                      | 47,73                                      | 7457,66          | 4488,00           | 2969,66          |
| 2                                    | 1,28                      | 94,85                                      | 7409,93          | 4488,00           | 2921,93          |
| 3                                    | 1,92                      | 140,45                                     | 7315,08          | 4488,00           | 2827,08          |
| 4                                    | 2,56                      | 183,67                                     | 7174,63          | 4488,00           | 2686,63          |
| 5                                    | 3,2                       | 223,71                                     | 6990,96          | 4488,00           | 2502,96          |
| 6                                    | 3,84                      | 259,86                                     | 6767,25          | 4488,00           | 2279,25          |
| 7                                    | 4,48                      | 291,53                                     | 6507,39          | 4488,00           | 2019,39          |
| 8                                    | 5,12                      | 318,25                                     | 6215,86          | 4488,00           | 1727,86          |
| 9                                    | 5,76                      | 339,70                                     | 5897,61          | 4488,00           | 1409,61          |
| 10                                   | 6,4                       | 355,71                                     | 5557,91          | 4488,00           | 1069,91          |
| 11                                   | 7,04                      | 366,23                                     | 5202,20          | 4488,00           | 714,20           |
| 12                                   | 7,68                      | 371,40                                     | 4835,96          | 4488,00           | 347,96           |
| 13                                   | 8,32                      | 371,45                                     | 4464,56          | 4464,56           | 0,00             |
| 14                                   | 8,96                      | 366,74                                     | 4093,11          | 4093,11           | 0,00             |
| 15                                   | 9,6                       | 357,73                                     | 3726,37          | 3726,37           | 0,00             |
| 16                                   | 10,24                     | 344,95                                     | 3368,64          | 3368,64           | 0,00             |
| 17                                   | 10,88                     | 328,98                                     | 3023,69          | 3023,69           | 0,00             |
| 18                                   | 11,52                     | 310,43                                     | 2694,71          | 2694,71           | 0,00             |
| 19                                   | 12,16                     | 289,93                                     | 2384,28          | 2384,28           | 0,00             |
| 20                                   | 12,8                      | 268,08                                     | 2094,35          | 2094,35           | 0,00             |
| 21                                   | 13,44                     | 245,45                                     | 1826,27          | 1826,27           | 0,00             |
| 22                                   | 14,08                     | 222,58                                     | 1580,82          | 1580,82           | 0,00             |
| 23                                   | 14,72                     | 199,93                                     | 1358,24          | 1358,24           | 0,00             |
| 24                                   | 15,36                     | 177,92                                     | 1158,31          | 1158,31           | 0,00             |
| 25                                   | 16                        | 156,86                                     | 980,39           | 980,39            | 0,00             |

**Tabla 28.** Ejemplo 5A – Producción. Autoconsumo y excedentes

Una vez estimados los valores de producción destinados al autoconsumo y la generación de excedentes es posible calcular los ahorros debidos a estas dos cantidades.

Del autoconsumo se deducen los siguientes elementos de la factura de electricidad:

- Energía: Al producirse total o parcialmente la energía consumida se reduce la cantidad comprada a la red y con ella los peajes debidos a esta compra. Estas cantidades conforman el término variable.
- Potencia: Los costes derivados de la contratación de potencia no se reducen. Estos costes incluyen el peaje y el término de potencia y se

definen como término fijo. El contrato se efectúa de igual forma que si no existiera autoconsumo.

- Impuestos: El impuesto eléctrico (5,11%) debido a la compra de energía se ahorra al autoconsumir. También lo hace el IVA (21%) que habría resultado de la compra de dicha energía.
- Alquiler de equipo: El sistema fotovoltaico ya incorpora un equipo de medida, por lo tanto este coste se ahorra.

Los ahorros se deben al término variable. Para calcularlos se estiman los costes de autoconsumo en función a la energía que habría sido comprada en caso de no ser producida y se suma el peaje de acceso y el ahorro recibido por la compensación de excedentes.

| TÉRMINO VARIABLE |         |                    |                |            |            |                  |                |            |                |
|------------------|---------|--------------------|----------------|------------|------------|------------------|----------------|------------|----------------|
|                  |         | AUTOCONSUMO        |                |            | PEAJE      | EXCEDENTES       |                |            |                |
| AÑO              | IPC (%) | Auto-consumo (kWh) | Precio (€/kWh) | Ahorro (€) | Ahorro (€) | Excedentes (kWh) | Precio (€/kWh) | Ahorro (€) | SUBTOTAL 1 (€) |
| 0                | 0       | 0                  | 0,00000        | 0,00       | 0,00       | 0                | 0              | 0,00       | 0,00           |
| 1                | 1       | 4488,00            | 0,11989        | 538,08     | 197,59     | 2969,66          | 0,05400        | 160,36     | 896,03         |
| 2                | 1       | 4488,00            | 0,12109        | 543,46     | 199,57     | 2921,93          | 0,05454        | 159,36     | 902,39         |
| 3                | 1       | 4488,00            | 0,12230        | 548,90     | 199,57     | 2827,08          | 0,05509        | 155,73     | 904,20         |
| 4                | 1       | 4488,00            | 0,12353        | 554,38     | 199,57     | 2686,63          | 0,05564        | 149,47     | 903,43         |
| 5                | 1       | 4488,00            | 0,12476        | 559,93     | 199,57     | 2502,96          | 0,05619        | 140,65     | 900,15         |
| 6                | 1       | 4488,00            | 0,12601        | 565,53     | 199,57     | 2279,25          | 0,05675        | 129,36     | 894,45         |
| 7                | 1       | 4488,00            | 0,12727        | 571,18     | 199,57     | 2019,39          | 0,05732        | 115,76     | 886,51         |
| 8                | 1       | 4488,00            | 0,12854        | 576,89     | 199,57     | 1727,86          | 0,05790        | 100,03     | 876,50         |
| 9                | 1       | 4488,00            | 0,12983        | 582,66     | 199,57     | 1409,61          | 0,05847        | 82,43      | 864,66         |
| 10               | 1       | 4488,00            | 0,13113        | 588,49     | 199,57     | 1069,91          | 0,05906        | 63,19      | 851,25         |
| 11               | 1       | 4488,00            | 0,13244        | 594,37     | 199,57     | 714,20           | 0,05965        | 42,60      | 836,55         |
| 12               | 1       | 4488,00            | 0,13376        | 600,32     | 199,57     | 347,96           | 0,06025        | 20,96      | 820,85         |
| 13               | 1       | 4464,56            | 0,13510        | 603,16     | 198,53     | 0,00             | 0,06085        | 0,00       | 801,68         |
| 14               | 1       | 4093,11            | 0,13645        | 558,50     | 182,01     | 0,00             | 0,06146        | 0,00       | 740,51         |
| 15               | 1       | 3726,37            | 0,13781        | 513,55     | 165,70     | 0,00             | 0,06207        | 0,00       | 679,25         |
| 16               | 1       | 3368,64            | 0,13919        | 468,89     | 149,79     | 0,00             | 0,06269        | 0,00       | 618,68         |
| 17               | 1       | 3023,69            | 0,14058        | 425,08     | 134,46     | 0,00             | 0,06332        | 0,00       | 559,54         |
| 18               | 1       | 2694,71            | 0,14199        | 382,62     | 119,83     | 0,00             | 0,06395        | 0,00       | 502,45         |
| 19               | 1       | 2384,28            | 0,14341        | 341,93     | 106,02     | 0,00             | 0,06459        | 0,00       | 447,95         |
| 20               | 1       | 2094,35            | 0,14484        | 303,35     | 93,13      | 0,00             | 0,06524        | 0,00       | 396,48         |
| 21               | 1       | 1826,27            | 0,14629        | 267,17     | 81,21      | 0,00             | 0,06589        | 0,00       | 348,38         |
| 22               | 1       | 1580,82            | 0,14776        | 233,57     | 70,29      | 0,00             | 0,06655        | 0,00       | 303,87         |
| 23               | 1       | 1358,24            | 0,14923        | 202,69     | 60,40      | 0,00             | 0,06721        | 0,00       | 263,09         |
| 24               | 1       | 1158,31            | 0,15073        | 174,59     | 51,51      | 0,00             | 0,06789        | 0,00       | 226,09         |
| 25               | 1       | 980,39             | 0,15223        | 149,25     | 43,60      | 0,00             | 0,06857        | 0,00       | 192,84         |

Tabla 29. Ejemplo 5A – Cálculo del Ahorro

De la suma del ahorro debido al autoconsumo, al peaje y a la compensación de excedentes obtenemos el “Subtotal 1”. A este subtotal se le debe sumar el ahorro del impuesto eléctrico (5,11%) y del alquiler del equipo de medida para obtener el “Subtotal 2”.

Por último, se tiene en cuenta el IVA del 21% y se obtiene el resultado final del ahorro.

| AHORRO TOTAL |                |                                |                               |                |                              |
|--------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|
| AÑO          | SUBTOTAL 1 (€) | Impuesto Eléctrico (5,11%) (€) | Ahorro Alquiler de Equipo (€) | SUBTOTAL 2 (€) | AHORRO TOTAL + IVA (21%) (€) |
| 0            | 0,00           | 0,00                           | 0,00                          | 0,00           | 0,00                         |
| 1            | 896,03         | 45,79                          | 9,71                          | 951,53         | 1151,35                      |
| 2            | 902,39         | 46,11                          | 9,80                          | 958,31         | 1159,55                      |
| 3            | 904,20         | 46,20                          | 9,90                          | 960,30         | 1161,96                      |
| 4            | 903,43         | 46,17                          | 10,00                         | 959,59         | 1161,11                      |
| 5            | 900,15         | 46,00                          | 10,10                         | 956,24         | 1157,05                      |
| 6            | 894,45         | 45,71                          | 10,20                         | 950,36         | 1149,94                      |
| 7            | 886,51         | 45,30                          | 10,30                         | 942,11         | 1139,95                      |
| 8            | 876,50         | 44,79                          | 10,41                         | 931,69         | 1127,35                      |
| 9            | 864,66         | 44,18                          | 10,51                         | 919,35         | 1112,42                      |
| 10           | 851,25         | 43,50                          | 10,61                         | 905,36         | 1095,49                      |
| 11           | 836,55         | 42,75                          | 10,72                         | 890,01         | 1076,92                      |
| 12           | 820,85         | 41,95                          | 10,83                         | 873,62         | 1057,09                      |
| 13           | 801,68         | 40,97                          | 10,94                         | 853,58         | 1032,84                      |
| 14           | 740,51         | 37,84                          | 11,05                         | 789,40         | 955,17                       |
| 15           | 679,25         | 34,71                          | 11,16                         | 725,11         | 877,39                       |
| 16           | 618,68         | 31,61                          | 11,27                         | 661,56         | 800,49                       |
| 17           | 559,54         | 28,59                          | 11,38                         | 599,51         | 725,41                       |
| 18           | 502,45         | 25,68                          | 11,49                         | 539,62         | 652,94                       |
| 19           | 447,95         | 22,89                          | 11,61                         | 482,45         | 583,77                       |
| 20           | 396,48         | 20,26                          | 11,73                         | 428,47         | 518,45                       |
| 21           | 348,38         | 17,80                          | 11,84                         | 378,02         | 457,41                       |
| 22           | 303,87         | 15,53                          | 11,96                         | 331,36         | 400,94                       |
| 23           | 263,09         | 13,44                          | 12,08                         | 288,62         | 349,23                       |
| 24           | 226,09         | 11,55                          | 12,20                         | 249,85         | 302,32                       |
| 25           | 192,84         | 9,85                           | 12,32                         | 215,02         | 260,17                       |

**Tabla 30.** Ejemplo 5A – Ahorro total

## 6.2.1.5. Gastos

Los gastos de la instalación se deben al mantenimiento y operación de la instalación y a la contratación de un seguro ante posibles robos o fallos.

Como se indicó en el *Apartado 5.4*, los costes de mantenimiento y operación suponen un gasto fijo de 60€ anuales.

El coste del seguro es de un 0.2% sobre el presupuesto total de la instalación (sin IVA) y aumenta al 3% anual.

| GASTOS |                           |         |         |                          |
|--------|---------------------------|---------|---------|--------------------------|
| AÑO    | MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN | SEGURO  | TOTAL   | TOTAL GASTOS + IVA (21%) |
| 0      | 0,00 €                    | 0,00 €  | 0,00 €  | 0,00 €                   |
| 1      | 60,00 €                   | 10,73 € | 70,73 € | 85,59 €                  |
| 2      | 60,00 €                   | 11,06 € | 71,06 € | 85,98 €                  |
| 3      | 60,00 €                   | 11,39 € | 71,39 € | 86,38 €                  |
| 4      | 60,00 €                   | 11,73 € | 71,73 € | 86,79 €                  |
| 5      | 60,00 €                   | 12,08 € | 72,08 € | 87,22 €                  |
| 6      | 60,00 €                   | 12,44 € | 72,44 € | 87,66 €                  |
| 7      | 60,00 €                   | 12,82 € | 72,82 € | 88,11 €                  |
| 8      | 60,00 €                   | 13,20 € | 73,20 € | 88,57 €                  |
| 9      | 60,00 €                   | 13,60 € | 73,60 € | 89,05 €                  |
| 10     | 60,00 €                   | 14,01 € | 74,01 € | 89,55 €                  |
| 11     | 60,00 €                   | 14,43 € | 74,43 € | 90,05 €                  |
| 12     | 60,00 €                   | 14,86 € | 74,86 € | 90,58 €                  |
| 13     | 60,00 €                   | 15,30 € | 75,30 € | 91,12 €                  |
| 14     | 60,00 €                   | 15,76 € | 75,76 € | 91,67 €                  |
| 15     | 60,00 €                   | 16,24 € | 76,24 € | 92,25 €                  |
| 16     | 60,00 €                   | 16,72 € | 76,72 € | 92,84 €                  |
| 17     | 60,00 €                   | 17,22 € | 77,22 € | 93,44 €                  |
| 18     | 60,00 €                   | 17,74 € | 77,74 € | 94,07 €                  |
| 19     | 60,00 €                   | 18,27 € | 78,27 € | 94,71 €                  |
| 20     | 60,00 €                   | 18,82 € | 78,82 € | 95,37 €                  |
| 21     | 60,00 €                   | 19,39 € | 79,39 € | 96,06 €                  |
| 22     | 60,00 €                   | 19,97 € | 79,97 € | 96,76 €                  |
| 23     | 60,00 €                   | 20,57 € | 80,57 € | 97,49 €                  |
| 24     | 60,00 €                   | 21,18 € | 81,18 € | 98,23 €                  |
| 25     | 60,00 €                   | 21,82 € | 81,82 € | 99,00 €                  |

**Tabla 31.** Ejemplo 5A - Gastos Anuales

### 6.2.1.6. Impuestos

Según el RD 244/2019, las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo están exentas de impuestos específicos.

Los únicos impuestos considerados en el estudio de los casos de instalaciones de este proyecto son:

- IVA: Este impuesto es del 21% y se aplica en el precio de la instalación, en la compra-venta de energía (ha sido considerado estimación de ahorros) y en el cálculo de gastos.
- Impuesto eléctrico: Es del 5,11% y se ha considerado en el cálculo de los ahorros como un ahorro debido al autoconsumo de la energía.

### 6.2.1.7. Flujo de Caja y Rentabilidad

En la siguiente tabla se presentan los flujos de caja para 25 años.

No se ha incluido la columna de impuestos por ser nulos durante el ejercicio.

| CUENTA DE RESULTADOS |            |         |            |          |          |          |            |
|----------------------|------------|---------|------------|----------|----------|----------|------------|
| AÑO                  | AHORROS    | GASTOS  | EBITDA     | AMORTIZ. | INTERÉS  | BN       | CASH FLOW  |
| 0                    | 0,00 €     | 0,00 €  | 0,00 €     | 0,00 €   | 0,00 €   | 0,00 €   | 0,00 €     |
| 1                    | 1.151,35 € | 85,59 € | 1.065,76 € | 170,00 € | 103,91 € | 791,85 € | 961,85 €   |
| 2                    | 1.159,55 € | 85,98 € | 1.073,57 € | 170,00 € | 93,51 €  | 810,06 € | 980,06 €   |
| 3                    | 1.161,96 € | 86,38 € | 1.075,58 € | 170,00 € | 83,12 €  | 822,46 € | 992,46 €   |
| 4                    | 1.161,11 € | 86,79 € | 1.074,31 € | 170,00 € | 72,73 €  | 831,58 € | 1.001,58 € |
| 5                    | 1.157,05 € | 87,22 € | 1.069,83 € | 170,00 € | 62,34 €  | 837,49 € | 1.007,49 € |
| 6                    | 1.149,94 € | 87,66 € | 1.062,28 € | 170,00 € | 51,95 €  | 840,33 € | 1.010,33 € |
| 7                    | 1.139,95 € | 88,11 € | 1.051,84 € | 170,00 € | 41,56 €  | 840,28 € | 1.010,28 € |
| 8                    | 1.127,35 € | 88,57 € | 1.038,77 € | 170,00 € | 31,17 €  | 837,60 € | 1.007,60 € |
| 9                    | 1.112,42 € | 89,05 € | 1.023,36 € | 170,00 € | 20,78 €  | 832,58 € | 1.002,58 € |
| 10                   | 1.095,49 € | 89,55 € | 1.005,94 € | 170,00 € | 10,39 €  | 825,55 € | 995,55 €   |
| 11                   | 1.076,92 € | 90,05 € | 986,86 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 826,86 € | 986,86 €   |
| 12                   | 1.057,09 € | 90,58 € | 966,51 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 806,51 € | 966,51 €   |
| 13                   | 1.032,84 € | 91,12 € | 941,72 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 781,72 € | 941,72 €   |
| 14                   | 955,17 €   | 91,67 € | 863,50 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 703,50 € | 863,50 €   |
| 15                   | 877,39 €   | 92,25 € | 785,14 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 625,14 € | 785,14 €   |
| 16                   | 800,49 €   | 92,84 € | 707,66 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 547,66 € | 707,66 €   |
| 17                   | 725,41 €   | 93,44 € | 631,96 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 471,96 € | 631,96 €   |
| 18                   | 652,94 €   | 94,07 € | 558,87 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 398,87 € | 558,87 €   |
| 19                   | 583,77 €   | 94,71 € | 489,05 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 329,05 € | 489,05 €   |
| 20                   | 518,45 €   | 95,37 € | 423,07 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 263,07 € | 423,07 €   |
| 21                   | 457,41 €   | 96,06 € | 361,35 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 201,35 € | 361,35 €   |
| 22                   | 400,94 €   | 96,76 € | 304,18 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 144,18 € | 304,18 €   |
| 23                   | 349,23 €   | 97,49 € | 251,74 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 91,74 €  | 251,74 €   |
| 24                   | 302,32 €   | 98,23 € | 204,08 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 44,08 €  | 204,08 €   |
| 25                   | 260,17 €   | 99,00 € | 161,17 €   | 160,00 € | 0,00 €   | 1,17 €   | 161,17 €   |

**Tabla 32.** Ejemplo 5A - Cuenta de Resultados

Para calcular la rentabilidad se presentan el valor de la inversión inicial y los valores calculados para los flujos de caja descontados. A partir de ellos se estiman el VAN, la TIR y el periodo de retorno.

La tasa de descuento para proyectos fotovoltaicos estimada y utilizada para el cálculo del VAN es del 7%.

| RENTABILIDAD      |            |                      |             |
|-------------------|------------|----------------------|-------------|
| Inversión Inicial |            |                      | 6.494,07 €  |
| AÑO               | CASH FLOW  | CASH FLOW DESCONTADO | VAN         |
| 0                 | 0,00 €     | 0,00 €               | -6.494,07 € |
| 1                 | 961,85 €   | 898,93 €             | -5.595,14 € |
| 2                 | 980,06 €   | 856,02 €             | -4.739,12 € |
| 3                 | 992,46 €   | 810,14 €             | -3.928,98 € |
| 4                 | 1.001,58 € | 764,10 €             | -3.164,88 € |
| 5                 | 1.007,49 € | 718,33 €             | -2.446,55 € |
| 6                 | 1.010,33 € | 673,22 €             | -1.773,32 € |
| 7                 | 1.010,28 € | 629,15 €             | -1.144,17 € |
| 8                 | 1.007,60 € | 586,43 €             | -557,74 €   |
| 9                 | 1.002,58 € | 545,34 €             | -12,40 €    |
| 10                | 995,55 €   | 506,09 €             | 493,69 €    |
| 11                | 986,86 €   | 468,85 €             | 962,54 €    |
| 12                | 966,51 €   | 429,14 €             | 1.391,68 €  |
| 13                | 941,72 €   | 390,78 €             | 1.782,46 €  |
| 14                | 863,50 €   | 334,88 €             | 2.117,34 €  |
| 15                | 785,14 €   | 284,57 €             | 2.401,91 €  |
| 16                | 707,66 €   | 239,71 €             | 2.641,62 €  |
| 17                | 631,96 €   | 200,06 €             | 2.841,68 €  |
| 18                | 558,87 €   | 165,35 €             | 3.007,03 €  |
| 19                | 489,05 €   | 135,23 €             | 3.142,26 €  |
| 20                | 423,07 €   | 109,33 €             | 3.251,59 €  |
| 21                | 361,35 €   | 87,27 €              | 3.338,86 €  |
| 22                | 304,18 €   | 68,66 €              | 3.407,52 €  |
| 23                | 251,74 €   | 53,10 €              | 3.460,62 €  |
| 24                | 204,08 €   | 40,23 €              | 3.500,86 €  |
| 25                | 161,17 €   | 29,70 €              | 3.530,55 €  |

**Tabla 33.** Ejemplo 5A - Rentabilidad

Se ha calculado el VAN para cada año y se ha indicado en color naranja el año para el año en el que se produce un cambio de negativo a positivo en el valor del VAN. Esto indica que en el año 10 se ha recuperado la inversión inicial y comienzan a producirse ganancias por encima de la rentabilidad exigida.

Este resultado permite afirmar que el proyecto es viable económicamente.

El plazo de recuperación de la inversión inicial, o pay-back descontado es de 9 años:

| PAY-BACK DESCONTADO |
|---------------------|
| 9 Años              |

**Tabla 34.** Ejemplo 5A - Pay-Back Descontado

Por último, el valor de la TIR estimado para el horizonte temporal de 10 años fijado para este estudio es del 9%. Si la instalación fotovoltaica continúa su actividad, la TIR para el año 15 será del 13% y en el año 25 del 14%.

| TIR    |     |
|--------|-----|
| AÑO 10 | 9%  |
| AÑO 15 | 13% |
| AÑO 25 | 14% |

**Tabla 35.** Ejemplo 5A – Resultado TIR

La tasa de rendimiento interno obtenida para el horizonte temporal estudiado (periodo de 10 años) es superior a la rentabilidad mínima exigida (7%) por lo que el proyecto debe ser aceptado ya que sí es capaz de generar beneficio.

### 6.2.2.EJEMPLO 5B: Paneles Reutilizados

En este apartado se procede a la realización de una instalación de potencia 5kW conectada a la red mediante paneles reutilizados. La potencia entregada por los paneles reutilizados es inferior a la proporcionada por paneles de nueva adquisición, debido a la degradación que han sufrido las células durante su primera vida.

Debemos calcular, por lo tanto, la potencia que es capaz de proporcionar un módulo reutilizado para estimar el número de ellos necesarios para alcanzar la potencia de instalación deseada.

Tendremos en cuenta las tasas de degradación de los paneles en función de la tecnología empleada (Ver Apartado 2.5, *Tabla 2. Porcentaje anual de Degradación en función del Tipo de Tecnología*).

La forma de calcular esta degradación es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Degradación Panel} \\ = \text{Tasa degradación (\% anual)} \times N^{\circ} \text{Años de uso} \times \text{Potencia} \end{aligned}$$

**Ecuación 6.** Cálculo de la degradación de panel reutilizado

La potencia final del panel reutilizado se obtiene según la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia Panel Reutilizado} = \text{Potencia Inicial} - \text{Degradación Panel}$$

**Ecuación 7.** Potencia ofrecida por panel reutilizado

Si suponemos, por ejemplo, paneles policristalinos de 330 Wp que han sido utilizados durante 25 años, la tasa de degradación será del 0,61% pues estamos trabajando con paneles de silicio policristalino de 25 años, por lo que fueron instalados antes del año 2000. Su degradación sería de 50,325 W

$$\begin{aligned} \text{Degradación Panel} \\ = \text{Tasa degradación (\% anual)} \times N^{\circ} \text{Años de uso} \times \text{Potencia} \\ = 0.0061 \left( \frac{\text{Degradación}}{\text{año}} \right) \times 15(\text{Años}) \times 330(W) \\ = 50,325W \text{ de degradación} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la potencia ofrecida por el panel reutilizado será de 279,67 W:

$$\begin{aligned} \text{Potencia Panel Reutilizado} &= \text{Potencia Inicial} - \text{Degradación Panel} \\ &= 330(W) - 50.33(W \text{ degradados}) = 279,67 W \end{aligned}$$

En este caso, una potencia de 279,67 W con respecto a los 330 Wp que ofrecía el panel en su adquisición supone un rendimiento del 84,75%.

Con el fin de situarnos en un escenario realista, en los ejemplos de los casos prácticos de este proyecto utilizaremos paneles fotovoltaicos que hayan consumido 15 años de vida.

*Degradación Panel*

$$\begin{aligned}
 &= \text{Tasa degradación (\% anual)} \times \text{N}^\circ \text{Años de uso} \times \text{Potencia} \\
 &= 0.0064 \left( \frac{\text{Degradación}}{\text{año}} \right) \times 15(\text{Años}) \times 330(\text{W}) \\
 &= 31,68 \text{ W de degradación}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Potencia Panel Reutilizado} &= \text{Potencia Inicial} - \text{Degradación Panel} \\
 &= 330(\text{W}) - 31,68(\text{W degradados}) = 298,32 \text{ W}
 \end{aligned}$$

El rendimiento de estos paneles es del 90,4%.

Para realizar una instalación de 5kW mediante paneles que ofrecen una potencia pico de 298,32 Wp necesitaremos 17 paneles.

Las características de la instalación a construir en este caso son las siguientes:

| EJEMPLO 5B - CARACTERÍSTICAS GENERALES |              |
|--|--------------|
| Tipo de Superficie                     | Tejado plano |
| Inclinación                            | 30°          |
| Orientación                            | Sur          |
| Zona Geográfica                        | Zona IV      |
| Potencia pico instalada                | 5,071 kWp    |
| Potencia Inicial Panel                 | 330 Wp       |
| Potencia Real Panel                    | 298,32 Wp    |
| Nº Paneles                             | 17           |
| Potencia Inversor                      | 5 kW         |

**Tabla 36.** Ejemplo 5B - Características Generales

**6.2.2.1. Inversión Inicial**

El presupuesto para la realización mediante paneles reutilizados (ejemplo 5B) mantiene las condiciones del presupuesto realizado a partir de paneles nuevos (ejemplo 5A).

El precio unitario de los paneles utilizado para este ejemplo es el estimado en el Apartado 4.6 (Ver Tabla 16).

En la siguiente tabla se presenta el presupuesto final para este ejemplo:

| <b>EJEMPLO 5B - Presupuesto Instalación Fotovoltaica 5kW</b>                |          |               |                   |
|---|----------|---------------|-------------------|
| <b>SISTEMA FOTOVOTAICO</b>  | Cantidad | Precio (€/ud) | Precio TOTAL      |
| Paneles Fotovoltaicos (YINGLI Solar 330Wp)                                  | 17       | 60,64 €       | 1.030,88 €        |
| Inversor (Sunny Boy SMA)  | 1        | 1.050,00 €    | 1.050,00 €        |
| Protecciones  | 1        | 100,00 €      | 100,00 €          |
| Contador  | 1        | 150,00 €      | 150,00 €          |
| Estructura de Soporte   | 1        | 450,00 €      | 450,00 €          |
| Cuadro eléctrico, cableado, conexiones, etc                                 | 1        | 393,75 €      | 393,75 €          |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>3.174,63 €</b> |
| <b>OBRA CIVIL, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA</b>                           |          |               |                   |
| Mano de Obra Montaje Estructura, Instalación Equipos, Cableado y Conexiones |          |               | 675,00 €          |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>675,00 €</b>   |
| <b>MONITORIZACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA</b>                                 |          |               |                   |
| Sistema de monitorización y gestión   |          |               | 100,00 €          |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>100,00 €</b>   |
| <b>INGENIERÍA: DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Y DIRECCIÓN DE OBRA</b>                |          |               |                   |
| Realización del proyecto (8% PEM)   |          |               | 315,97 €          |
| Dirección de Obra (3% PEM)  |          |               | 118,49 €          |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>434,46 €</b>   |
| <b>TRAMITACIÓN</b>  |          |               |                   |
| Gestión y tramitación de permisos, licencias y conexión a red               |          |               | 150,00 €          |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>150,00 €</b>   |
| <b>TOTAL</b>  |          |               | <b>4.534,09 €</b> |
| <b>IVA (21%)</b>  |          |               | <b>952,16 €</b>   |
| <b>PRESUPUESTO TOTAL</b>  |          |               | <b>5.486,25 €</b> |

Tabla 37. Ejemplo 5B - Presupuesto Inversión Inicial

La distribución del presupuesto para este ejemplo de instalación se muestra a continuación:

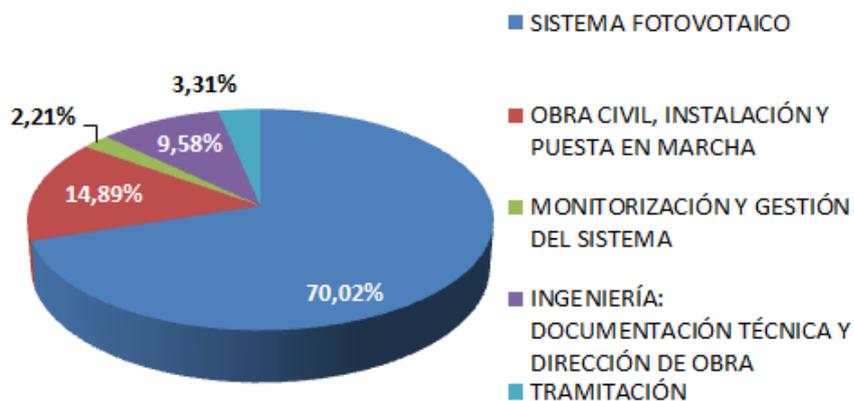


Ilustración 68. Ejemplo 5B - Diagrama Distribución del Presupuesto

### 6.2.2.2. Financiación

La financiación de la instalación se realizará de la siguiente forma:

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| <b>Presupuesto total</b>    | 5.486,25 €          |
| <b>Fondos propios (20%)</b> | 1.097,25 €          |
| <b>Préstamo (80%)</b>       | 4.389,00 €          |
| <b>Tipo de interés</b>      | 2,00%               |
| <b>Años Crédito</b>         | 10                  |
| <b>Forma de liquidación</b> | Amortización Lineal |

**Tabla 38.** Ejemplo 5B – Financiación

El valor del préstamo es, por tanto, de 4.389 €.

La forma de devolución de esta cantidad se detalla a continuación:

| AÑO | PRINCIPAL | INTERESES | CUOTA ANUAL | DEUDA VIVA |
|-----|-----------|-----------|-------------|------------|
| 0   | 0,00 €    | 0,00 €    | 0,00 €      | 0,00 €     |
| 1   | 438,90 €  | 87,78 €   | 526,68 €    | 3.950,10 € |
| 2   | 438,90 €  | 79,00 €   | 517,90 €    | 3.511,20 € |
| 3   | 438,90 €  | 70,22 €   | 509,12 €    | 3.072,30 € |
| 4   | 438,90 €  | 61,45 €   | 500,35 €    | 2.633,40 € |
| 5   | 438,90 €  | 52,67 €   | 491,57 €    | 2.194,50 € |
| 6   | 438,90 €  | 43,89 €   | 482,79 €    | 1.755,60 € |
| 7   | 438,90 €  | 35,11 €   | 474,01 €    | 1.316,70 € |
| 8   | 438,90 €  | 26,33 €   | 465,23 €    | 877,80 €   |
| 9   | 438,90 €  | 17,56 €   | 456,46 €    | 438,90 €   |
| 10  | 438,90 €  | 8,78 €    | 447,68 €    | 0,00 €     |

**Tabla 39.** Ejemplo 5B - Devolución Préstamo

### 6.2.2.3. Amortizaciones

El coste de adquisición de los activos es el indicado en el presupuesto de inversión inicial.

El tiempo de amortización estimado es de 25 años para los elementos del sistema fotovoltaico y 10 años para el equipo de monitorización. Los paneles reutilizados tienen un tiempo de amortización de 13 años, ya que en los elementos de inmovilizado material que se adquieran usados, el coeficiente a aplicar es como máximo el resultado de multiplicar por dos el coeficiente máximo de amortización (*Artículo 4.3 del Reglamento del Impuesto sobre Sociedades*) (58).

Por este motivo, para paneles nuevos el tiempo de amortización era de 25 años y para paneles reutilizados tomaremos 13.

| ACTIVO                                      | AMORTIZACIÓN |               |                    |
|---|--------------|---------------|--------------------|
|   | Valor        | Tiempo (Años) | Amortización ANUAL |
| Paneles Fotovoltaicos (YINGLI Solar 330Wp)  | 1.030,88 €   | 13            | 79,30 €            |
| Inversor (Sunny Boy SMA)                    | 1.050,00 €   | 25            | 42,00 €            |
| Protecciones                                | 100,00 €     | 25            | 4,00 €             |
| Contador                                    | 150,00 €     | 25            | 6,00 €             |
| Estructura de Soporte                       | 450,00 €     | 25            | 18,00 €            |
| Cuadro eléctrico, cableado, conexiones, etc | 393,75 €     | 25            | 15,75 €            |
| Sistema de Monitorización y Gestión         | 100,00 €     | 10            | 10,00 €            |
| <b>TOTAL</b>                                |              |               | <b>175,05 €</b>    |

*Tabla 40. Ejemplo 5B - Amortizaciones*

#### 6.2.2.4. Ahorros

El cálculo de ahorros se realiza de la misma forma que en el Ejemplo A.

En primer lugar, utilizamos PVGIS para obtener un valor aproximado de la energía producida. Los datos introducidos han sido los siguientes:

| DATOS INTRODUCIDOS      | VALOR              |
|-------------------------|--------------------|
| Ubicación [Lat/Lon]     | (39.492, - 1.104)  |
| Horizonte               | Calculado          |
| Base de datos utilizada | PVGIS-CMSAF        |
| Tecnología Fotovoltaica | Silicio Cristalino |
| PV instalado [kWp]      | 5,071              |
| Pérdida del sistema [%] | 14                 |
| Ángulo de inclinación   | 30                 |
| Ángulo de Acimut        | 0                  |

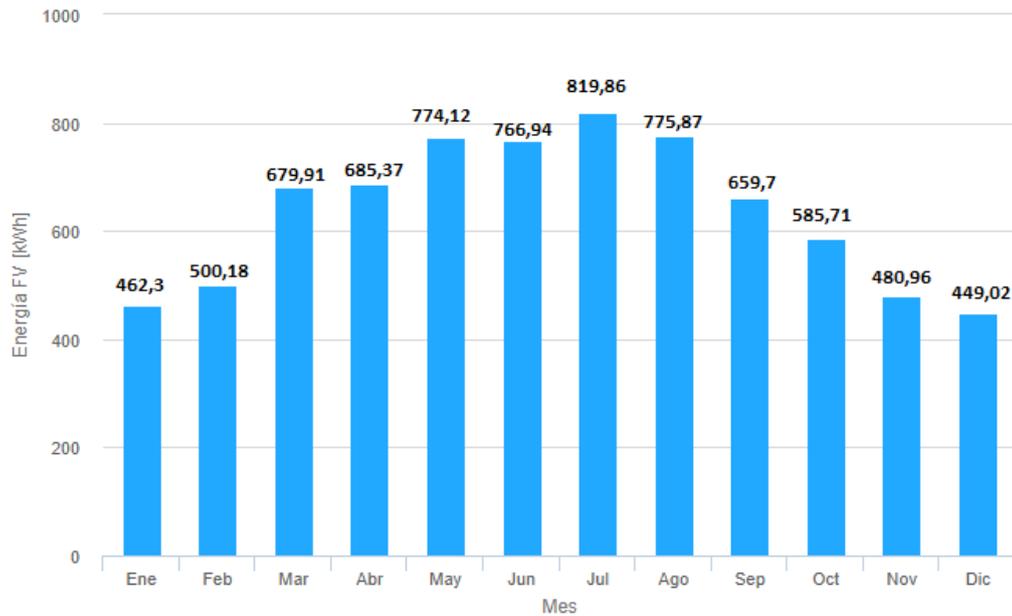
*Tabla 41. Ejemplo 5B - Datos Proporcionados a PVGIS*

El resultado se muestra en la siguiente tabla:

| SALIDAS DE SIMULACIÓN                               | VALOR   |
|---|---------|
| Producción anual de Energía FV [kWh]                | 7639,96 |
| Irradiación anual en el plano [kWh/m <sup>2</sup> ] | 2000,4  |
| Variabilidad año a año [kWh]                        | 239,25  |
| Cambios en la producción debidos a:                 |         |
| · Ángulo de incidencia [%]                          | -2,69   |
| · Efectos espectrales[%]                            | 0,55    |
| · Temperatura y baja irradiancia[%]                 | -10,5   |
| Pérdida Total [%]                                   | -24,69  |

*Tabla 42. Ejemplo 5B - Datos de Salida Calculados por PVGIS*

Gráfica de la producción de energía mensual del sistema fotovoltaico:



**Ilustración 69.** Ejemplo 5B - Producción de Energía Mensual (por PVGIS)

Partiendo de que el valor de producción anual de energía estimado es de 7639,96 kWh y el consumo medio es, igual que en el ejemplo anterior, de 4488 kWh, podemos calcular las cantidades de kWh de autoconsumo y de excedentes producidos.

Para el valor de las pérdidas por degradación de las células del panel, se ha tenido en cuenta el valor de 0,64 anual (según *Tabla 2*) ya que los paneles fueron instalados por primera vez después del año 2000.

| Ejemplo B – Datos para el Cálculo de ahorros |             |
|--|-------------|
| Producción Eléctrica                         | 7639,96 kWh |
| Consumo Eléctrico                            | 4488 kWh    |
| Tasa Degradación                             | 0,64        |
| IPC  | 1%          |

**Tabla 43.** Ejemplo 5B - Datos para el Cálculo de Ahorros

El resultado de estos cálculos se muestra en la siguiente tabla:

| PRODUCCIÓN. AUTOCONSUMO Y EXCEDENTES |                           |  |                  |                   |                  |
|--------------------------------------|---------------------------|--|------------------|-------------------|------------------|
| AÑO                                  | Pérdida de Eficiencia (%) | Pérdida de Producción por Eficiencia (kWh) | Producción (kWh) | Autoconsumo (kWh) | Excedentes (kWh) |
| 0                                    | 0                         | 0  | 0                | 0                 | 0                |
| 1                                    | 0,64                      | 48,90                                      | 7639,96          | 4488,00           | 3151,96          |
| 2                                    | 1,28                      | 97,17                                      | 7591,06          | 4488,00           | 3103,06          |

|    |      |        |         |         |         |
|----|------|--------|---------|---------|---------|
| 3  | 1,92 | 143,88 | 7493,90 | 4488,00 | 3005,90 |
| 4  | 2,56 | 188,16 | 7350,02 | 4488,00 | 2862,02 |
| 5  | 3,2  | 229,18 | 7161,86 | 4488,00 | 2673,86 |
| 6  | 3,84 | 266,21 | 6932,68 | 4488,00 | 2444,68 |
| 7  | 4,48 | 298,66 | 6666,46 | 4488,00 | 2178,46 |
| 8  | 5,12 | 326,03 | 6367,80 | 4488,00 | 1879,80 |
| 9  | 5,76 | 348,01 | 6041,77 | 4488,00 | 1553,77 |
| 10 | 6,4  | 364,40 | 5693,77 | 4488,00 | 1205,77 |
| 11 | 7,04 | 375,19 | 5329,37 | 4488,00 | 841,37  |
| 12 | 7,68 | 380,48 | 4954,18 | 4488,00 | 466,18  |
| 13 | 8,32 | 380,53 | 4573,70 | 4488,00 | 85,70   |
| 14 | 8,96 | 375,71 | 4193,17 | 4193,17 | 0,00    |
| 15 | 9,6  | 366,48 | 3817,46 | 3817,46 | 0,00    |

**Tabla 44.** Ejemplo 5B - Producción y Excedentes

Estimo ahora el valor de los ahorros debidos al autoconsumo y a la compensación de excedentes a partir de los mismos valores de tarifa contratada que en el Ejemplo A (Ver *Tabla 27*).

Resultado obtenido:

|     |         | TÉRMINO VARIABLE   |                |            |            |                  |                |            |                 |
|-----|---------|--------------------|----------------|------------|------------|------------------|----------------|------------|-----------------|
|     |         | AUTOCONSUMO        |                |            | PEAJE      | EXCEDENTES       |                |            |                 |
| AÑO | IPC (%) | Auto-consumo (kWh) | Precio (€/kWh) | Ahorro (€) | Ahorro (€) | Excedentes (kWh) | Precio (€/kWh) | Ahorro (€) | SUB-TOTAL 1 (€) |
| 0   | 0       | 0                  | 0,00000        | 0,00       | 0,00       | 0,00             | 0              | 0,00       | 0,00            |
| 1   | 1       | 4488               | 0,11989        | 538,08     | 197,59     | 3151,96          | 0,05400        | 170,21     | 905,88          |
| 2   | 1       | 4488               | 0,12109        | 543,46     | 199,57     | 3103,06          | 0,05454        | 169,24     | 912,27          |
| 3   | 1       | 4488               | 0,12230        | 548,90     | 199,57     | 3005,90          | 0,05509        | 165,58     | 914,05          |
| 4   | 1       | 4488               | 0,12353        | 554,38     | 199,57     | 2862,02          | 0,05564        | 159,23     | 913,19          |
| 5   | 1       | 4488               | 0,12476        | 559,93     | 199,57     | 2673,86          | 0,05619        | 150,25     | 909,75          |
| 6   | 1       | 4488               | 0,12601        | 565,53     | 199,57     | 2444,68          | 0,05675        | 138,75     | 903,84          |
| 7   | 1       | 4488               | 0,12727        | 571,18     | 199,57     | 2178,46          | 0,05732        | 124,87     | 895,63          |
| 8   | 1       | 4488               | 0,12854        | 576,89     | 199,57     | 1879,80          | 0,05790        | 108,83     | 885,30          |
| 9   | 1       | 4488               | 0,12983        | 582,66     | 199,57     | 1553,77          | 0,05847        | 90,86      | 873,09          |
| 10  | 1       | 4488               | 0,13113        | 588,49     | 199,57     | 1205,77          | 0,05906        | 71,21      | 859,27          |
| 11  | 1       | 4488               | 0,13244        | 594,37     | 199,57     | 841,37           | 0,05965        | 50,19      | 844,13          |
| 12  | 1       | 4488               | 0,13376        | 600,32     | 199,57     | 466,18           | 0,06025        | 28,09      | 827,97          |
| 13  | 1       | 4488               | 0,13510        | 606,32     | 199,57     | 85,70            | 0,06085        | 5,21       | 811,11          |
| 14  | 1       | 4193,17            | 0,13645        | 572,15     | 186,46     | 0,00             | 0,06146        | 0,00       | 758,61          |
| 15  | 1       | 3817,46            | 0,13781        | 526,10     | 169,75     | 0,00             | 0,06207        | 0,00       | 695,85          |

**Tabla 45.** Ejemplo 5B - Cálculo del Ahorro

Sobre el “Subtotal 1” se suma el ahorro del impuesto eléctrico (5,11%) y del alquiler del equipo de medida y se obtiene el “Subtotal 2”.

Por último, se tiene en cuenta el IVA del 21% y se obtiene el resultado final del ahorro:

| AHORRO TOTAL |                |                                |                               |                |                              |
|--------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|
| AÑO          | SUBTOTAL 1 (€) | Impuesto Eléctrico (5,11%) (€) | Ahorro Alquiler de Equipo (€) | SUBTOTAL 2 (€) | AHORRO TOTAL + IVA (21%) (€) |
| 0            | 0,00           | 0,00                           | 0,00                          | 0,00           | 0,00                         |
| 1            | 905,88         | 46,29                          | 9,71                          | 961,87         | 1163,87                      |
| 2            | 912,27         | 46,62                          | 9,80                          | 968,69         | 1172,12                      |
| 3            | 914,05         | 46,71                          | 9,90                          | 970,65         | 1174,49                      |
| 4            | 913,19         | 46,66                          | 10,00                         | 969,85         | 1173,52                      |
| 5            | 909,75         | 46,49                          | 10,10                         | 966,34         | 1169,27                      |
| 6            | 903,84         | 46,19                          | 10,20                         | 960,23         | 1161,88                      |
| 7            | 895,63         | 45,77                          | 10,30                         | 951,69         | 1151,55                      |
| 8            | 885,30         | 45,24                          | 10,41                         | 940,94         | 1138,54                      |
| 9            | 873,09         | 44,61                          | 10,51                         | 928,21         | 1123,14                      |
| 10           | 859,27         | 43,91                          | 10,61                         | 913,79         | 1105,69                      |
| 11           | 844,13         | 43,14                          | 10,72                         | 897,99         | 1086,56                      |
| 12           | 827,97         | 42,31                          | 10,83                         | 881,11         | 1066,14                      |
| 13           | 811,11         | 41,45                          | 10,94                         | 863,49         | 1044,82                      |
| 14           | 758,61         | 38,77                          | 11,05                         | 808,42         | 978,19                       |
| 15           | 695,85         | 35,56                          | 11,16                         | 742,56         | 898,50                       |

**Tabla 46.** Ejemplo 5B - Ahorro Total

#### 6.2.2.5. Gastos

Los gastos para este ejemplo son los mismos que para el Ejemplo A, pues se deben al mantenimiento y operación de la instalación, lo que supone un gasto fijo de 60 € y a la contratación de un seguro calculado como el 0,2% del presupuesto estimado (sin IVA), que aumenta a ritmo del 3% anual.

Al total de la estimación de estos gastos se le suma el IVA (21%).

El resultado del cálculo de los gastos se muestra a continuación:

| GASTOS |                           |         |         |                          |
|--------|---------------------------|---------|---------|--------------------------|
| AÑO    | MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN | SEGURO  | TOTAL   | TOTAL GASTOS + IVA (21%) |
| 0      | 0,00 €                    | 0,00 €  | 0,00 €  | 0,00 €                   |
| 1      | 60,00 €                   | 9,07 €  | 69,07 € | 83,57 €                  |
| 2      | 60,00 €                   | 9,34 €  | 69,34 € | 83,90 €                  |
| 3      | 60,00 €                   | 9,62 €  | 69,62 € | 84,24 €                  |
| 4      | 60,00 €                   | 9,91 €  | 69,91 € | 84,59 €                  |
| 5      | 60,00 €                   | 10,21 € | 70,21 € | 84,95 €                  |
| 6      | 60,00 €                   | 10,51 € | 70,51 € | 85,32 €                  |
| 7      | 60,00 €                   | 10,83 € | 70,83 € | 85,70 €                  |
| 8      | 60,00 €                   | 11,15 € | 71,15 € | 86,09 €                  |
| 9      | 60,00 €                   | 11,49 € | 71,49 € | 86,50 €                  |
| 10     | 60,00 €                   | 11,83 € | 71,83 € | 86,92 €                  |
| 11     | 60,00 €                   | 12,19 € | 72,19 € | 87,35 €                  |
| 12     | 60,00 €                   | 12,55 € | 72,55 € | 87,79 €                  |
| 13     | 60,00 €                   | 12,93 € | 72,93 € | 88,24 €                  |
| 14     | 60,00 €                   | 13,32 € | 73,32 € | 88,71 €                  |
| 15     | 60,00 €                   | 13,72 € | 73,72 € | 89,20 €                  |

*Tabla 47. Ejemplo 5B – Gastos*

#### 6.2.2.6. Impuestos

Según el RD 244/2019, las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo están exentas de impuestos específicos.

El impuesto eléctrico ha sido considerado en el estudio del ahorro debido al autoconsumo y el IVA se ha tenido en cuenta en el precio de la instalación, en la compra-venta de energía y en el cálculo de gastos.

#### 6.2.2.7. Flujo de Caja y Rentabilidad

Los resultados de los flujos de caja para los ejemplos de instalaciones realizadas a partir de paneles reutilizados (Ejemplos B y D) consideran un horizonte temporal de 15 años y no de 25, para no realizar los cálculos a partir de un valor de periodo superior al tiempo de vida útil de los paneles reutilizados.

| CUENTA DE RESULTADOS |            |         |            |          |           |          |            |
|----------------------|------------|---------|------------|----------|-----------|----------|------------|
| AÑO                  | AHORROS    | GASTOS  | EBITDA     | AMORTIZ. | INTERESES | BN       | CASH FLOW  |
| 0                    | 0,00 €     | 0,00 €  | 0,00 €     | 0,00 €   | 0,00 €    | 0,00 €   | 0,00 €     |
| 1                    | 1.163,87 € | 83,57 € | 1.080,30 € | 175,05 € | 87,78 €   | 817,47 € | 992,52 €   |
| 2                    | 1.172,12 € | 83,90 € | 1.088,21 € | 175,05 € | 79,00 €   | 834,16 € | 1.009,21 € |
| 3                    | 1.174,49 € | 84,24 € | 1.090,25 € | 175,05 € | 70,22 €   | 844,98 € | 1.020,03 € |
| 4                    | 1.173,52 € | 84,59 € | 1.088,93 € | 175,05 € | 61,45 €   | 852,43 € | 1.027,48 € |
| 5                    | 1.169,27 € | 84,95 € | 1.084,32 € | 175,05 € | 52,67 €   | 856,60 € | 1.031,65 € |
| 6                    | 1.161,88 € | 85,32 € | 1.076,56 € | 175,05 € | 43,89 €   | 857,62 € | 1.032,67 € |
| 7                    | 1.151,55 € | 85,70 € | 1.065,85 € | 175,05 € | 35,11 €   | 855,69 € | 1.030,74 € |
| 8                    | 1.138,54 € | 86,09 € | 1.052,44 € | 175,05 € | 26,33 €   | 851,06 € | 1.026,11 € |
| 9                    | 1.123,14 € | 86,50 € | 1.036,64 € | 175,05 € | 17,56 €   | 844,03 € | 1.019,08 € |
| 10                   | 1.105,69 € | 86,92 € | 1.018,77 € | 175,05 € | 8,78 €    | 834,95 € | 1.010,00 € |
| 11                   | 1.086,56 € | 87,35 € | 999,22 €   | 165,05 € | 0,00 €    | 834,17 € | 999,22 €   |
| 12                   | 1.066,14 € | 87,79 € | 978,36 €   | 165,05 € | 0,00 €    | 813,31 € | 978,36 €   |
| 13                   | 1.044,82 € | 88,24 € | 956,58 €   | 165,05 € | 0,00 €    | 791,53 € | 956,58 €   |
| 14                   | 978,19 €   | 88,71 € | 889,48 €   | 85,75 €  | 0,00 €    | 803,73 € | 889,48 €   |
| 15                   | 898,50 €   | 89,20 € | 809,31 €   | 85,75 €  | 0,00 €    | 723,56 € | 809,31 €   |

**Tabla 48.** Ejemplo 5B - Cuenta de Resultados

La rentabilidad se calcula mediante el VAN ( $k=7\%$ ) para los flujos de caja descontados. Se calcula también la TIR y el periodo de retorno.

| RENTABILIDAD      |            |                      |             |
|-------------------|------------|----------------------|-------------|
| Inversión Inicial |            |                      | 5.486,25 €  |
| AÑO               | CASH FLOW  | CASH FLOW DESCONTADO | VAN         |
| 0                 | 0,00 €     | 0,00 €               | -5.486,25 € |
| 1                 | 992,52 €   | 927,58 €             | -4.558,66 € |
| 2                 | 1.009,21 € | 881,48 €             | -3.677,18 € |
| 3                 | 1.020,03 € | 832,65 €             | -2.844,53 € |
| 4                 | 1.027,48 € | 783,86 €             | -2.060,67 € |
| 5                 | 1.031,65 € | 735,55 €             | -1.325,12 € |
| 6                 | 1.032,67 € | 688,11 €             | -637,01 €   |
| 7                 | 1.030,74 € | 641,89 €             | 4,88 €      |
| 8                 | 1.026,11 € | 597,20 €             | 602,08 €    |
| 9                 | 1.019,08 € | 554,31 €             | 1.156,40 €  |
| 10                | 1.010,00 € | 513,43 €             | 1.669,83 €  |
| 11                | 999,22 €   | 474,72 €             | 2.144,55 €  |
| 12                | 978,36 €   | 434,40 €             | 2.578,95 €  |
| 13                | 956,58 €   | 396,95 €             | 2.975,89 €  |
| 14                | 889,48 €   | 344,96 €             | 3.320,85 €  |
| 15                | 809,31 €   | 293,33 €             | 3.614,18 €  |

**Tabla 49.** Ejemplo 5B - Rentabilidad

El VAN es positivo a partir del año 7. Esto quiere decir que a partir de entonces se recupera la inversión y el proyecto comienza a generar ganancias. Se puede afirmar que el Ejemplo B es viable económicamente.

El Pay-Back descontado, o plazo en el que se recupera la inversión, realizando el cálculo a partir de los flujos descontados es de 7 años:

| PAY-BACK DESCONTADO |
|---------------------|
| 7 años              |

**Tabla 50.** Ejemplo 5B - Pay-Back Descontado

La tasa interna de retorno para esta instalación en un periodo de 10 años es del 13% y se estima que para el año 15 será del 17%.

Este valor es superior a la rentabilidad exigida al proyecto (7%) por lo tanto la inversión resulta rentable.

| TIR    |     |
|--------|-----|
| AÑO 10 | 13% |
| AÑO 15 | 17% |

**Tabla 51.** Ejemplo 5B - Resultado TIR

## 6.2.3. Análisis Comparativo de los Resultados

➤ EJEMPLO 5A:

Los resultados del estudio económico para el ejemplo 5A en el horizonte temporal de 10 años se detallan en la siguiente tabla:

| <b>EJEMPLO 5A - RESULTADOS</b>          |            |
|---|------------|
| <b>Resultados Físicos</b>               |            |
| Nº Paneles                              | 15         |
| Superficie ocupada por los paneles (m2) | 29,76      |
| Potencia por Panel (Wp)                 | 330        |
| <b>Resultados energéticos</b>           |            |
| Producción Media Anual (kWh)            | 6729,43    |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)           | 4488,00    |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)         | 2241,43    |
| <b>Resultados económicos</b>            |            |
| Desembolso Inicial en Paneles           | 1.950,00 € |
| Inversión Inicial Total                 | 6.494,07 € |
| Préstamo Total                          | 5.195,26 € |
| Amortización Anual                      | 170,00 €   |
| Gastos - Media Anual                    | 87,49 €    |
| Pay-Back Descontado                     | 9 Años     |
| Cash Flow Acumulado (Año 10)            | 9.969,79 € |
| VAN (Año 10)                            | 493,69 €   |
| Rentabilidad - TIR (Año 10)             | 9%         |

*Tabla 52. Resultados Ejemplo 5A*

➤ EJEMPLO 5B:

Del estudio económico para 10 años del ejemplo 5B se obtiene lo siguiente:

| <b>EJEMPLO 5B - RESULTADOS</b>          |            |
|---|------------|
| <b>Resultados Físicos</b>               |            |
| Nº Paneles                              | 17         |
| Superficie ocupada por los paneles (m2) | 33,73      |
| Potencia por Panel (Wp)                 | 298,32     |
| <b>Resultados Energéticos</b>           |            |
| Producción Media Anual (kWh)            | 6893,93    |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)           | 4488,00    |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)         | 2405,93    |
| <b>Resultados Económicos</b>            |            |
| Desembolso Inicial en Paneles           | 1.030,88 € |
| Inversión Inicial                       | 5.486,25 € |
| Préstamo Total                          | 4.389,00 € |
| Amortización Anual                      | 175,05 €   |
| Gastos - Media Anual                    | 85,18 €    |

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| Pay-Back Descontado          | 7 años      |
| Cash Flow Acumulado (Año 10) | 10.199,47 € |
| VAN (Año 10)                 | 1.669,83 €  |
| TIR (Año 10)                 | 13%         |

**Tabla 53. Resultados Ejemplo 5B**

❖ COMPARACIÓN DE RESULTADOS:

De la comparación entre resultados al construir una instalación fotovoltaica de 5 kW utilizando paneles nuevos (ejemplo 5A) o reutilizados (ejemplo 5B) se producen diferencias físicas, energéticas y económicas en la instalación. En la *Tabla 54.* se detallan estas diferencias en valor absoluto y porcentual.

El análisis enfrenta paneles reutilizados vs paneles nuevos. Por este motivo, se indican en color verde aquellos aspectos para los que la utilización de paneles nuevos presenta ventajas y en rojo aquellos para los que se encuentra en desventaja frente a la instalación de paneles nuevos.

|  | CASO 1: INSTALACIÓN FV DE 5 kW |                   |                   |                |
|--|--------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|
|  | EJEMPLO 5A                     | EJEMPLO 5B        | Diferencia Total  | Diferencia (%) |
| <b>RESULTADOS FÍSICOS</b>                        |                                |                   |                   |                |
| Nº Paneles                                       | 15                             | 17                | 2                 | 13,33%         |
| Superficie Ocupada por paneles (m <sup>2</sup> ) | 29,76                          | 33,73             | 3,97              | 13,33%         |
| Potencia por Panel (Wp)                          | 330                            | 298,32            | 31,68             | 9,60%          |
| <b>RESULTADOS ENERGÉTICOS</b>                    |                                |                   |                   |                |
| Producción Media Anual (kWh)                     | 6729,43                        | 6893,93           | 164,50            | 2,44%          |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)                    | 4488,00                        | 4488,00           | 0,00              | 0,00%          |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)                  | 2241,43                        | 2405,93           | 164,50            | 7,34%          |
| <b>RESULTADOS ECONÓMICOS</b>                     |                                |                   |                   |                |
| Desembolso Inicial en Paneles                    | 1.950,00 €                     | 1.030,88 €        | 919,12 €          | 47,13%         |
| Inversión Inicial                                | 6.494,07 €                     | 5.486,25 €        | 1.007,82 €        | 15,52%         |
| Préstamo total                                   | 5.195,26 €                     | 4.389,00 €        | 806,26 €          | 15,52%         |
| Amortización Anual                               | 170,00 €                       | 175,05 €          | 5,05 €            | 2,97%          |
| Gastos Medios Anuales                            | 87,49 €                        | 85,18 €           | 2,31 €            | 2,64%          |
| Pay-Back Descontado                              | 9 Años                         | 7 años            | 2 Años            | 22%            |
| Cash Flow Acumulado (Año 10)                     | 9.969,79 €                     | 10.199,47 €       | 229,68 €          | 2,30%          |
| <b>VAN (Año 10)</b>                              | <b>493,69 €</b>                | <b>1.669,83 €</b> | <b>1.176,14 €</b> | <b>238,24%</b> |
| <b>Rentabilidad - TIR (Año 10)</b>               | <b>9%</b>                      | <b>13%</b>        | <b>4%</b>         | <b>44,44%</b>  |

**Tabla 54. Ejemplo 5B (Paneles Reutilizados) vs Ejemplo 5A (Paneles nuevos)**

### RESULTADOS FÍSICOS:

➤ Nº DE PANELES:

Para conseguir un mismo valor de potencia de instalación, es necesario un número mayor de paneles reutilizados que de paneles nuevos debido a que los primeros ofrecen menor potencia por panel ya que sus células han sufrido degradación en su primer uso.

El número de paneles necesarios en caso de que la instalación se construya a partir de módulos reutilizados es un 13,33% superior al número de paneles necesarios para una instalación mediante paneles nuevos (2 paneles más).

➤ SUPERFICIE OCUPADA:

Debido a que en la instalación realizada a partir de paneles reutilizados se necesita un mayor número de módulos, la superficie ocupada por la instalación es superior.

➤ POTENCIA POR PANEL:

Las células de los módulos se degradan en un porcentaje anual. Por este motivo, los paneles reutilizados ofrecen valores inferiores de potencia para un mismo modelo de módulo.

La potencia ofrecida por los paneles de segundo uso es un 9,60% inferior a la proporcionada por módulos nuevos.

### RESULTADOS ENERGÉTICOS:

➤ PRODUCCIÓN MEDIA ANUAL:

La producción media anual para 10 años de actividad es superior para la instalación realizada a partir de paneles reutilizados. Esta diferencia no es muy significativa (<5%).

➤ AUTOCONSUMO MEDIO ANUAL:

Ambos modelos son capaces de abastecer el total de las necesidades de autoconsumo para los 10 años del estudio.

➤ EXCEDENTES MEDIOS ANUALES:

Los excedentes del ejemplo B son superiores en un 7,34.

### RESULTADOS ECONÓMICOS:

Ambos proyectos resultan viables económicamente para el periodo de estudio pero se producen entre ellas diferencias económicas notables:

➤ DESEMBOLSO INICIAL EN PANELES:

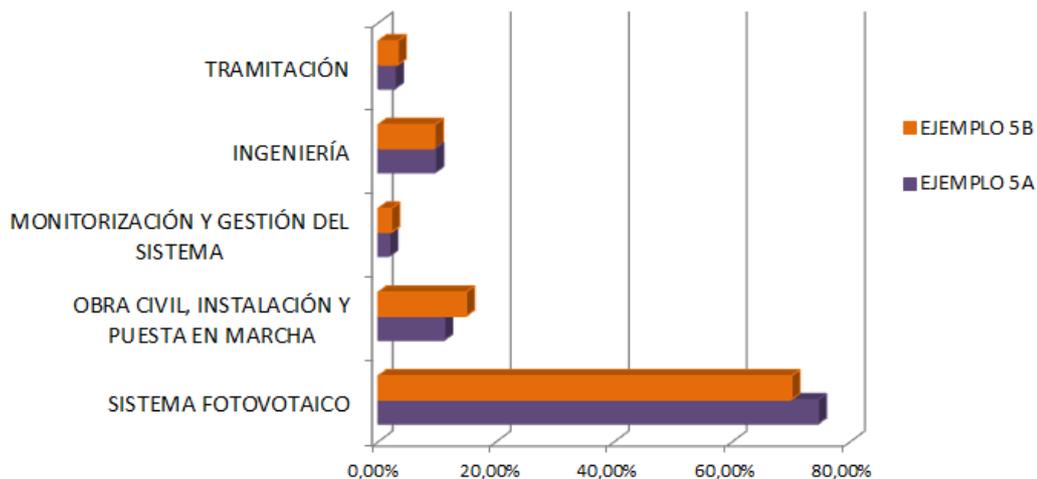
El desembolso inicial en paneles fotovoltaicos para la instalación realizada a partir de paneles reutilizados reduce los costes en 919,12 € con respecto al desembolso necesario para la instalación a partir de paneles nuevos.

Es decir, a pesar de ser necesario un mayor número de paneles para realizar el modelo de instalación B, la inversión inicial en paneles se reduce en un 47,13%.

➤ INVERSIÓN INICIAL:

La inversión inicial para el ejemplo B es un 15,52% más barata.

En el siguiente gráfico se muestra una comparación de la distribución porcentual del presupuesto para cada uno de los ejemplos.



**Ilustración 70.** Comparación de la Distribución Porcentual del presupuesto para los ejemplos 5A y 5B

Es de destacar que, aunque el desembolso inicial debido a los paneles para el ejemplo B sea inferior, un mayor número de paneles implica un coste superior en la estructura de soporte y, por lo tanto, aumenta también el coste del cableado, de las conexiones y de la obra civil e instalación eléctrica.

Por este motivo, el peso porcentual de la partida de “obra civil, instalación y puesta en marcha” toma un peso mayor en el ejemplo B que en el ejemplo A.

➤ PRÉSTAMO TOTAL:

El préstamo solicitado se reduce proporcionalmente al disminuir la inversión.

➤ AMORTIZACIÓN ANUAL:

La amortización anual toma un resultado similar en ambos casos. (Diferencia del 2,97%, muy poco significativa).

➤ GASTOS MEDIOS ANUALES

La reducción en los gastos para el ejemplo B se debe a la reducción del presupuesto inicial ya que el seguro contratado se calcula como un porcentaje del presupuesto.

Esta reducción es poco significativa (<5%)

➤ PAY-BACK DESCONTADO:

El Pay-Back descontado o plazo para el que se recupera la inversión es de 9 años para el ejemplo A y de 7 años para el ejemplo B. La instalación realizada a partir de paneles reutilizados recupera el desembolso inicial 2 años (un 22%) antes de lo que lo haría la instalación realizada a partir de paneles nuevos. Al recuperar la inversión en un periodo inferior, comienza a generar ganancias antes que la instalación del ejemplo A.

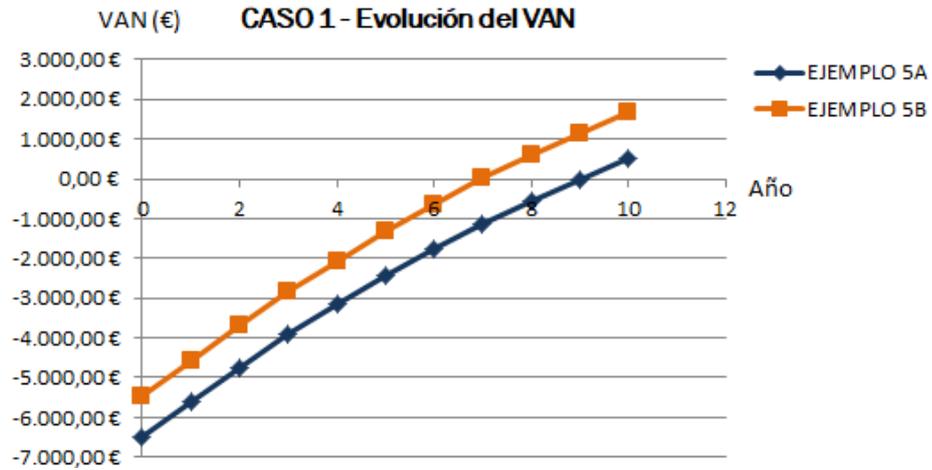
➤ CASH FLOW ACUMULADO:

Las ganancias recibidas por la actividad de la instalación toman valores semejantes en ambos ejemplos (diferencia del 2,30%, poco significativa).

Esto quiere decir que el beneficio recibido sin tener en cuenta la inversión inicial es el mismo tanto si se utilizan paneles nuevos como reutilizados.

➤ VAN (AÑO 10):

En la siguiente gráfica se puede apreciar que el VAN en ambos ejemplos es positivo para el horizonte temporal considerado pero toma un valor mayor en el ejemplo B debido a la ventaja en tiempo de generación de beneficio.



*Ilustración 71. CASO 1 - Evolución del VAN para los ejemplos A y B*

➤ TIR:

La TIR es un 4% mayor para el año 10 en el ejemplo B. Esto quiere decir que la rentabilidad de la instalación a partir de paneles reutilizados es mayor en un periodo menor de años.

### 6.3. CASO 2: Instalación Fotovoltaica Conectada a Red de 20 kW

#### 6.3.1.EJEMPLO 20A: Paneles Nuevos

Este caso práctico tiene por objetivo realizar una instalación solar fotovoltaica de 20 kW conectada a la red mediante paneles nuevos. Para ello se efectuará el montaje de 61 paneles de 330 Wp.

La potencia pico de la instalación es, por lo tanto, de 20,130 kW. Este valor sólo será alcanzado en condiciones ideales de radiación 1000W/m<sup>2</sup> y 25°C de temperatura en los paneles.

Las características principales de la instalación a construir son las siguientes:

| EJEMPLO 20A - CARACTERÍSTICAS GENERALES |              |
|---|--------------|
| Tipo de Superficie                      | Tejado plano |
| Inclinación                             | 30°          |
| Orientación                             | Sur          |
| Zona Geográfica                         | Zona IV      |
| Potencia pico instalada                 | 20,13 kWp    |
| Potencia por panel                      | 330 Wp       |
| Nº Paneles                              | 61           |
| Potencia Inversor                       | 20 kW        |

**Tabla 55.** Ejemplo 20A - Características Generales

El generador fotovoltaico estará formado por paneles de silicio policristalino. El modelo de panel elegido es del fabricante Yingli Solar, se compone de 72 células y ofrece una potencia de 330 Wp, es el mismo módulo que el seleccionado para el Caso 1.

El inversor seleccionado para este caso práctico es el modelo SYMO 20.0-3-M del fabricante FRONIUS.

Las especificaciones de las características del modelo de módulo y del inversor seleccionado se encuentran en las correspondientes fichas técnicas adjuntas en el Anexo II de este proyecto.

6.3.1.1. Inversión Inicial

| EJEMPLO 20A – Presupuesto Instalación Fotovoltaica 20kW                     |          |               |                    |
|---|----------|---------------|--------------------|
| SISTEMA FOTOVOTAICO   | Cantidad | Precio (€/ud) | Precio TOTAL       |
| Paneles Fotovoltaicos (YINGLI Solar 330Wp)                                  | 61       | 130,00 €      | 7.930,00 €         |
| Inversor (Symo 20,0-3-M FRONIUS)  | 1        | 3.000,00 €    | 3.000,00 €         |
| Protecciones  | 1        | 300,00 €      | 300,00 €           |
| Contador  | 1        | 150,00 €      | 150,00 €           |
| Estructura de Soporte   | 1        | 1.525,00 €    | 1.525,00 €         |
| Cuadro eléctrico, cableado, conexiones, etc                                 | 1        | 1.334,38 €    | 1.334,38 €         |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>14.239,38 €</b> |
| OBRA CIVIL, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA                                  |          |               |                    |
| Mano de Obra Montaje Estructura, Instalación Equipos, Cableado y Conexiones |          |               | 2.287,50 €         |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>2.287,50 €</b>  |
| MONITORIZACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA  |          |               |                    |
| Sistema de monitorización y gestión   |          |               | 100,00 €           |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>100,00 €</b>    |
| INGENIERÍA: DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Y DIRECCIÓN DE OBRA                       |          |               |                    |
| Realización del proyecto (8% PEM)   |          |               | 1.330,15 €         |
| Dirección de Obra (3% PEM)  |          |               | 498,81 €           |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>1.828,96 €</b>  |
| TRAMITACIÓN   |          |               |                    |
| Gestión y tramitación de permisos, licencias y conexión a red               |          |               | 300,00 €           |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>300,00 €</b>    |
| <b>TOTAL</b>  |          |               | <b>18.755,84 €</b> |
| <b>IVA (21%)</b>  |          |               | <b>3.938,73 €</b>  |
| <b>PRESUPUESTO TOTAL</b>  |          |               | <b>22.694,56 €</b> |

Tabla 56. Ejemplo 20A - Presupuesto Inversión Inicial

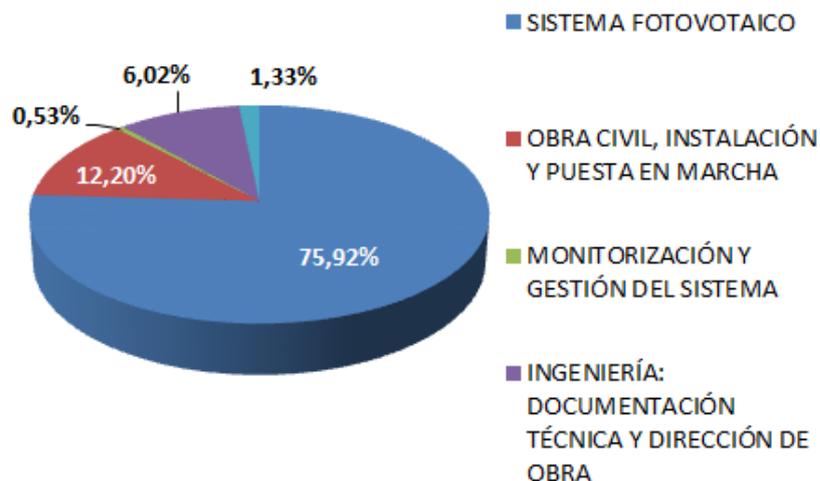


Ilustración 72. Ejemplo 20A - Distribución del Presupuesto

### 6.3.1.2. Financiación

La financiación de la instalación del Ejemplo 20A se financiará de la siguiente forma:

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| <b>Presupuesto total</b>    | 22.694,56 €         |
| <b>Fondos propios (20%)</b> | 4.538,91 €          |
| <b>Préstamo (80%)</b>       | 18.155,65 €         |
| <b>Tipo de interés</b>      | 2,00%               |
| <b>Años Crédito</b>         | 10                  |
| <b>Forma de liquidación</b> | Amortización Lineal |

**Tabla 57.** Ejemplo 20A – Financiación

El valor del préstamo es de 18.155,65 € a devolver según se indica en la siguiente tabla:

| AÑO | PRINCIPAL  | INTERESES | CUOTA ANUAL | DEUDA VIVA  |
|-----|------------|-----------|-------------|-------------|
| 0   | 0,00 €     | 0,00 €    | 0,00 €      | 0,00 €      |
| 1   | 1.815,57 € | 301,85 €  | 2.117,41 €  | 16.340,09 € |
| 2   | 1.815,57 € | 326,80 €  | 2.142,37 €  | 14.524,52 € |
| 3   | 1.815,57 € | 290,49 €  | 2.106,06 €  | 12.708,96 € |
| 4   | 1.815,57 € | 254,18 €  | 2.069,74 €  | 10.893,39 € |
| 5   | 1.815,57 € | 217,87 €  | 2.033,43 €  | 9.077,83 €  |
| 6   | 1.815,57 € | 181,56 €  | 1.997,12 €  | 7.262,26 €  |
| 7   | 1.815,57 € | 145,25 €  | 1.960,81 €  | 5.446,70 €  |
| 8   | 1.815,57 € | 108,93 €  | 1.924,50 €  | 3.631,13 €  |
| 9   | 1.815,57 € | 72,62 €   | 1.888,19 €  | 1.815,57 €  |
| 10  | 1.815,57 € | 36,31 €   | 1.851,88 €  | 0 €         |

**Tabla 58.** Ejemplo 20A - Devolución Préstamo

### 6.3.1.3. Amortizaciones

Como en los ejemplos anteriores, el tiempo de amortización estimado es de 25 años para los elementos del sistema fotovoltaico y 10 años para el equipo de monitorización.

Para este caso las amortizaciones se indican en la siguiente tabla:

| ACTIVO                                      | AMORTIZACIÓN |               |                    |
|---|--------------|---------------|--------------------|
|   | Valor        | Tiempo (Años) | Amortización ANUAL |
| Paneles Fotovoltaicos (YINGLI Solar 330Wp)  | 7.930,00 €   | 25            | 317,20 €           |
| Inversor (Symo 20,0-3-M FRONIUS)            | 3.000,00 €   | 25            | 120,00 €           |
| Protecciones                                | 300,00 €     | 25            | 12,00 €            |
| Contador                                    | 150,00 €     | 25            | 6,00 €             |
| Estructura de Soporte                       | 1.525,00 €   | 25            | 61,00 €            |
| Cuadro eléctrico, cableado, conexiones, etc | 1.334,38 €   | 25            | 53,38 €            |
| Sistema de Monitorización y Gestión         | 100,00 €     | 10            | 10,00 €            |
| <b>TOTAL</b>                                |              |               | <b>579,58 €</b>    |

*Tabla 59. Ejemplo 20A - Amortizaciones*

#### 6.3.1.4. Ahorros

La información de producción de energía se calcula mediante el programa PVGIS del mismo modo que en los ejemplos anteriores.

A continuación se muestran los valores de entrada proporcionados al programa PVGIS y los resultados obtenidos:

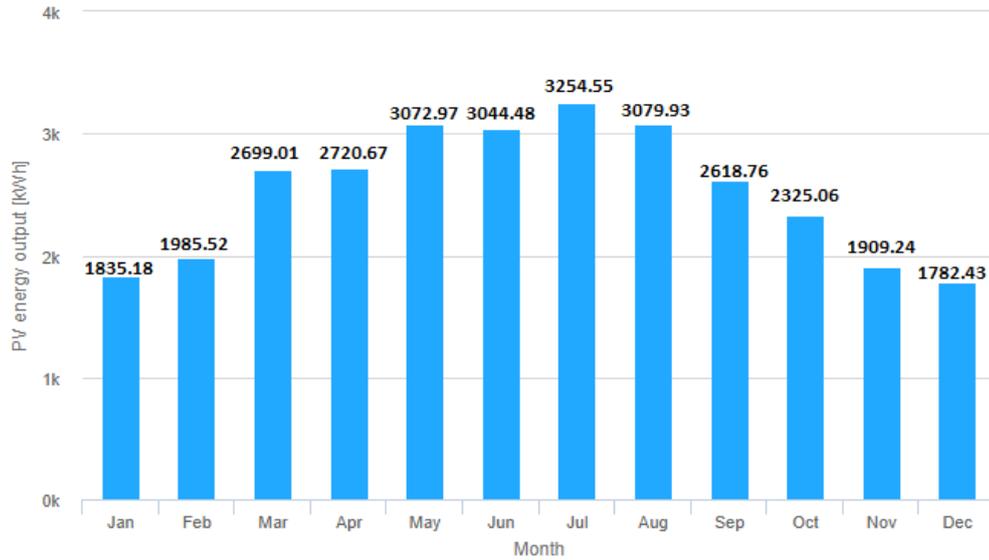
| DATOS INTRODUCIDOS      | VALOR              |
|-------------------------|--------------------|
| Ubicación [Lat/Lon]     | (39.492, - 1.104)  |
| Horizonte               | Calculado          |
| Base de datos utilizada | PVGIS-CMSAF        |
| Tecnología Fotovoltaica | Silicio Cristalino |
| PV instalado [kWp]      | 20,13              |
| Pérdida del sistema [%] | 14                 |
| Ángulo de inclinación   | 30                 |
| Ángulo de Acimut        | 0                  |

*Tabla 60. Ejemplo 20A - Datos Proporcionados a PVGIS*

| SALIDAS DE SIMULACIÓN                               | VALOR     |
|---|-----------|
| Producción anual de Energía FV [kWh]                | 30.327,81 |
| Irradiación anual en el plano [kWh/m <sup>2</sup> ] | 2000,4    |
| Variabilidad año a año [kWh]                        | 949,74    |
| Cambios en la producción debidos a:                 |           |
| · Ángulo de incidencia [%]                          | -2,69     |
| · Efectos espectrales[%]                            | 0,55      |
| · Temperatura y baja irradiancia[%]                 | -10,5     |
| Pérdida Total [%]                                   | -24,69    |

*Tabla 61. Ejemplo 20A - Datos de Salida calculados por PVGIS*

La producción mensual calculada por PVGIS para este ejemplo viene dada por la siguiente gráfica:



**Ilustración 73.** Ejemplo 20A - Producción de Energía Mensual Generada

De la misma forma que en los ejemplos del *Caso Práctico 1*, se calculan los ahorros anuales.

La información para realizar el cálculo de ahorros de este ejemplo se detalla en la siguiente tabla:

| Ejemplo 20A – Datos para Cálculo de Ahorros |               |
|---|---------------|
| Producción Eléctrica Anual                  | 30.327,81 kWh |
| Consumo Eléctrico Anual                     | 17.952 kWh    |
| Tasa Degradación                            | 0,64          |
| IPC   | 1%            |

**Tabla 62.** Ejemplo 20A – Datos para el cálculo de ahorros

Se ha tomado el valor de producción de energía calculado por PVGIS, el consumo eléctrico equivale a un 89,76% de la potencia contratada (igual que ocurre en la instalación del caso 1), la tasa de degradación es la correspondiente a instalaciones de paneles policristalinos posteriores al año 2000 y el valor del IPC es del 1%.

La tarifa contratada tiene las características indicadas en la siguiente tabla. La potencia contratada es de 20 kW y los términos de potencia, energía, alquiler del equipo de medida y precio de compensación de excedentes tienen el mismo valor que en el caso 1. No se ha realizado, por tanto, discriminación horaria para el término de energía.

| Ejemplo 20A - Características Tarifa Contratada |                   |
|---|-------------------|
| Potencia  | 20 kW             |
| Término de Potencia                             | 3,4297 €/kW y mes |
| Término de Energía                              | 0,119893 €/kWh    |
| Alquiler equipo medida                          | 0,02659 €/día     |
| Precio Compensación Excedentes                  | 0,054 €/kWh       |

**Tabla 63.** Ejemplo 20A - Características Tarifa Contratada

Se estiman a partir de estos datos los valores de autoconsumo y excedentes (en kWh) generados anualmente en la instalación:

| PRODUCCIÓN. AUTOCONSUMO Y EXCEDENTES |                           |  |                  |                   |                  |
|--------------------------------------|---------------------------|--|------------------|-------------------|------------------|
| AÑO                                  | Pérdida de Eficiencia (%) | Pérdida de Producción por Eficiencia (kWh) | Producción (kWh) | Autoconsumo (kWh) | Excedentes (kWh) |
| 0                                    | 0                         | 0  | 0                | 0                 | 0                |
| 1                                    | 0,64                      | 194,10                                     | 30327,81         | 17952,00          | 12375,81         |
| 2                                    | 1,28                      | 385,71                                     | 30133,71         | 17952,00          | 12181,71         |
| 3                                    | 1,92                      | 571,16                                     | 29748,00         | 17952,00          | 11796,00         |
| 4                                    | 2,56                      | 746,93                                     | 29176,84         | 17952,00          | 11224,84         |
| 5                                    | 3,2                       | 909,76                                     | 28429,91         | 17952,00          | 10477,91         |
| 6                                    | 3,84                      | 1056,77                                    | 27520,15         | 17952,00          | 9568,15          |
| 7                                    | 4,48                      | 1185,56                                    | 26463,38         | 17952,00          | 8511,38          |
| 8                                    | 5,12                      | 1294,22                                    | 25277,82         | 17952,00          | 7325,82          |
| 9                                    | 5,76                      | 1381,46                                    | 23983,60         | 17952,00          | 6031,60          |
| 10                                   | 6,4                       | 1446,54                                    | 22602,14         | 17952,00          | 4650,14          |
| 11                                   | 7,04                      | 1489,35                                    | 21155,60         | 17952,00          | 3203,60          |
| 12                                   | 7,68                      | 1510,37                                    | 19666,25         | 17952,00          | 1714,25          |
| 13                                   | 8,32                      | 1510,57                                    | 18155,88         | 17952,00          | 203,88           |
| 14                                   | 8,96                      | 1491,42                                    | 16645,31         | 16645,31          | 0,00             |
| 15                                   | 9,6                       | 1454,77                                    | 15153,89         | 15153,89          | 0,00             |
| 16                                   | 10,24                     | 1402,79                                    | 13699,12         | 13699,12          | 0,00             |
| 17                                   | 10,88                     | 1337,84                                    | 12296,33         | 12296,33          | 0,00             |
| 18                                   | 11,52                     | 1262,42                                    | 10958,49         | 10958,49          | 0,00             |
| 19                                   | 12,16                     | 1179,04                                    | 9696,07          | 9696,07           | 0,00             |
| 20                                   | 12,8                      | 1090,18                                    | 8517,03          | 8517,03           | 0,00             |
| 21                                   | 13,44                     | 998,17                                     | 7426,85          | 7426,85           | 0,00             |
| 22                                   | 14,08                     | 905,16                                     | 6428,68          | 6428,68           | 0,00             |
| 23                                   | 14,72                     | 813,06                                     | 5523,52          | 5523,52           | 0,00             |
| 24                                   | 15,36                     | 723,53                                     | 4710,46          | 4710,46           | 0,00             |
| 25                                   | 16                        | 637,91                                     | 3986,93          | 3986,93           | 0,00             |

**Tabla 64.** Ejemplo 20A - Producción. Autoconsumo y Excedentes

El ahorro para el ejemplo 20A se detalla a continuación:

|     |         | TÉRMINO VARIABLE   |                |            |            |                  |                |            |                 |
|-----|---------|--------------------|----------------|------------|------------|------------------|----------------|------------|-----------------|
|     |         | AUTOCONSUMO        |                |            | PEAJE      | EXCEDENTES       |                |            |                 |
| AÑO | IPC (%) | Auto-consumo (kWh) | Precio (€/kWh) | Ahorro (€) | Ahorro (€) | Excedentes (kWh) | Precio (€/kWh) | Ahorro (€) | SUB-TOTAL 1 (€) |
| 0   | 0       | 0,00               | 0,00000        | 0,00       | 0,00       | 0,00             | 0              | 0,00       | 0,00            |
| 1   | 1       | 17952,00           | 0,11989        | 2152,32    | 790,37     | 12375,81         | 0,05400        | 668,29     | 3610,99         |
| 2   | 1       | 17952,00           | 0,12109        | 2173,84    | 798,28     | 12181,71         | 0,05454        | 664,39     | 3636,51         |
| 3   | 1       | 17952,00           | 0,12230        | 2195,58    | 798,28     | 11796,00         | 0,05509        | 649,79     | 3643,64         |
| 4   | 1       | 17952,00           | 0,12353        | 2217,54    | 798,28     | 11224,84         | 0,05564        | 624,51     | 3640,32         |
| 5   | 1       | 17952,00           | 0,12476        | 2239,71    | 798,28     | 10477,91         | 0,05619        | 588,78     | 3626,77         |
| 6   | 1       | 17952,00           | 0,12601        | 2262,11    | 798,28     | 9568,15          | 0,05675        | 543,04     | 3603,42         |
| 7   | 1       | 17952,00           | 0,12727        | 2284,73    | 798,28     | 8511,38          | 0,05732        | 487,89     | 3570,90         |
| 8   | 1       | 17952,00           | 0,12854        | 2307,58    | 798,28     | 7325,82          | 0,05790        | 424,13     | 3529,98         |
| 9   | 1       | 17952,00           | 0,12983        | 2330,65    | 798,28     | 6031,60          | 0,05847        | 352,69     | 3481,62         |
| 10  | 1       | 17952,00           | 0,13113        | 2353,96    | 798,28     | 4650,14          | 0,05906        | 274,63     | 3426,87         |
| 11  | 1       | 17952,00           | 0,13244        | 2377,50    | 798,28     | 3203,60          | 0,05965        | 191,09     | 3366,87         |
| 12  | 1       | 17952,00           | 0,13376        | 2401,27    | 798,28     | 1714,25          | 0,06025        | 103,28     | 3302,83         |
| 13  | 1       | 17952,00           | 0,13510        | 2425,29    | 798,28     | 203,88           | 0,06085        | 12,41      | 3235,97         |
| 14  | 1       | 16645,31           | 0,13645        | 2271,24    | 740,17     | 0,00             | 0,06146        | 0,00       | 3011,41         |
| 15  | 1       | 15153,89           | 0,13781        | 2088,42    | 673,85     | 0,00             | 0,06207        | 0,00       | 2762,27         |
| 16  | 1       | 13699,12           | 0,13919        | 1906,81    | 609,16     | 0,00             | 0,06269        | 0,00       | 2515,97         |
| 17  | 1       | 12296,33           | 0,14058        | 1728,67    | 546,78     | 0,00             | 0,06332        | 0,00       | 2275,45         |
| 18  | 1       | 10958,49           | 0,14199        | 1555,99    | 487,29     | 0,00             | 0,06395        | 0,00       | 2043,29         |
| 19  | 1       | 9696,07            | 0,14341        | 1390,51    | 431,16     | 0,00             | 0,06459        | 0,00       | 1821,67         |
| 20  | 1       | 8517,03            | 0,14484        | 1233,64    | 378,73     | 0,00             | 0,06524        | 0,00       | 1612,37         |
| 21  | 1       | 7426,85            | 0,14629        | 1086,49    | 330,25     | 0,00             | 0,06589        | 0,00       | 1416,74         |
| 22  | 1       | 6428,68            | 0,14776        | 949,87     | 285,87     | 0,00             | 0,06655        | 0,00       | 1235,74         |
| 23  | 1       | 5523,52            | 0,14923        | 824,29     | 245,62     | 0,00             | 0,06721        | 0,00       | 1069,91         |
| 24  | 1       | 4710,46            | 0,15073        | 709,98     | 209,46     | 0,00             | 0,06789        | 0,00       | 919,45          |
| 25  | 1       | 3986,93            | 0,15223        | 606,94     | 177,29     | 0,00             | 0,06857        | 0,00       | 784,23          |

**Tabla 65.** Ejemplo 20A – Cálculo del Ahorro

Para calcular el ahorro total del caso se deben tener en cuenta el impuesto eléctrico y el ahorro debido al alquiler del equipo de medida. Por último se incluye el IVA. El resultado se muestra en la siguiente tabla:

| AHORRO TOTAL |                   |                                      |                                     |                   |                                    |
|--------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| AÑO          | SUBTOTAL 1<br>(€) | Impuesto<br>Eléctrico (5,11%)<br>(€) | Ahorro Alquiler<br>de Equipo<br>(€) | SUBTOTAL 2<br>(€) | AHORRO TOTAL<br>+ IVA (21%)<br>(€) |
| 0            | 0,00              | 0,00                                 | 0,00                                | 0,00              | 0,00                               |
| 1            | 3610,99           | 184,52                               | 9,71                                | 3805,21           | 4604,31                            |
| 2            | 3636,51           | 185,83                               | 9,80                                | 3832,14           | 4636,89                            |
| 3            | 3643,64           | 186,19                               | 9,90                                | 3839,74           | 4646,08                            |
| 4            | 3640,32           | 186,02                               | 10,00                               | 3836,34           | 4641,97                            |
| 5            | 3626,77           | 185,33                               | 10,10                               | 3822,20           | 4624,86                            |
| 6            | 3603,42           | 184,13                               | 10,20                               | 3797,76           | 4595,29                            |
| 7            | 3570,90           | 182,47                               | 10,30                               | 3763,67           | 4554,04                            |
| 8            | 3529,98           | 180,38                               | 10,41                               | 3720,77           | 4502,13                            |
| 9            | 3481,62           | 177,91                               | 10,51                               | 3670,04           | 4440,75                            |
| 10           | 3426,87           | 175,11                               | 10,61                               | 3612,60           | 4371,24                            |
| 11           | 3366,87           | 172,05                               | 10,72                               | 3549,64           | 4295,06                            |
| 12           | 3302,83           | 168,77                               | 10,83                               | 3482,43           | 4213,74                            |
| 13           | 3235,97           | 165,36                               | 10,94                               | 3412,26           | 4128,84                            |
| 14           | 3011,41           | 153,88                               | 11,05                               | 3176,34           | 3843,38                            |
| 15           | 2762,27           | 141,15                               | 11,16                               | 2914,58           | 3526,64                            |
| 16           | 2515,97           | 128,57                               | 11,27                               | 2655,80           | 3213,52                            |
| 17           | 2275,45           | 116,28                               | 11,38                               | 2403,11           | 2907,76                            |
| 18           | 2043,29           | 104,41                               | 11,49                               | 2159,19           | 2612,62                            |
| 19           | 1821,67           | 93,09                                | 11,61                               | 1926,36           | 2330,90                            |
| 20           | 1612,37           | 82,39                                | 11,73                               | 1706,48           | 2064,85                            |
| 21           | 1416,74           | 72,40                                | 11,84                               | 1500,98           | 1816,19                            |
| 22           | 1235,74           | 63,15                                | 11,96                               | 1310,84           | 1586,12                            |
| 23           | 1069,91           | 54,67                                | 12,08                               | 1136,66           | 1375,36                            |
| 24           | 919,45            | 46,98                                | 12,20                               | 978,63            | 1184,14                            |
| 25           | 784,23            | 40,07                                | 12,32                               | 836,63            | 1012,32                            |

Tabla 66. Ejemplo 20A - Ahorro Total

### 6.3.1.5. Gastos

Los gastos para este ejemplo se deben a: 100€ anuales fijos de mantenimiento y operación y costes debidos al seguro calculados de la misma forma que en Caso 1 (0.2% anual del presupuesto total de la instalación (sin IVA) y un aumento anual del 3% sobre este valor).

| GASTOS |                           |         |          |                          |
|--------|---------------------------|---------|----------|--------------------------|
| AÑO    | MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN | SEGURO  | TOTAL    | TOTAL GASTOS + IVA (21%) |
| 0      | 0,00 €                    | 0,00 €  | 0,00 €   | 0,00 €                   |
| 1      | 100,00 €                  | 37,51 € | 137,51 € | 166,39 €                 |
| 2      | 100,00 €                  | 38,64 € | 138,64 € | 167,75 €                 |
| 3      | 100,00 €                  | 39,80 € | 139,80 € | 169,15 €                 |
| 4      | 100,00 €                  | 40,99 € | 140,99 € | 170,60 €                 |
| 5      | 100,00 €                  | 42,22 € | 142,22 € | 172,09 €                 |
| 6      | 100,00 €                  | 43,49 € | 143,49 € | 173,62 €                 |
| 7      | 100,00 €                  | 44,79 € | 144,79 € | 175,20 €                 |
| 8      | 100,00 €                  | 46,13 € | 146,13 € | 176,82 €                 |
| 9      | 100,00 €                  | 47,52 € | 147,52 € | 178,50 €                 |
| 10     | 100,00 €                  | 48,94 € | 148,94 € | 180,22 €                 |
| 11     | 100,00 €                  | 50,41 € | 150,41 € | 182,00 €                 |
| 12     | 100,00 €                  | 51,92 € | 151,92 € | 183,83 €                 |
| 13     | 100,00 €                  | 53,48 € | 153,48 € | 185,71 €                 |
| 14     | 100,00 €                  | 55,09 € | 155,09 € | 187,66 €                 |
| 15     | 100,00 €                  | 56,74 € | 156,74 € | 189,66 €                 |
| 16     | 100,00 €                  | 58,44 € | 158,44 € | 191,71 €                 |
| 17     | 100,00 €                  | 60,20 € | 160,20 € | 193,84 €                 |
| 18     | 100,00 €                  | 62,00 € | 162,00 € | 196,02 €                 |
| 19     | 100,00 €                  | 63,86 € | 163,86 € | 198,27 €                 |
| 20     | 100,00 €                  | 65,78 € | 165,78 € | 200,59 €                 |
| 21     | 100,00 €                  | 67,75 € | 167,75 € | 202,98 €                 |
| 22     | 100,00 €                  | 69,78 € | 169,78 € | 205,44 €                 |
| 23     | 100,00 €                  | 71,88 € | 171,88 € | 207,97 €                 |
| 24     | 100,00 €                  | 74,03 € | 174,03 € | 210,58 €                 |
| 25     | 100,00 €                  | 76,25 € | 176,25 € | 213,27 €                 |

**Tabla 67.** Ejemplo 20A - Gastos

### 6.3.1.6. Impuestos

Según el Real Decreto 244/2019, las instalaciones de autoconsumo están exentas de impuestos específicos.

El impuesto eléctrico ha sido considerado en el estudio del ahorro debido al autoconsumo y el IVA se ha tenido en cuenta en el precio de la instalación, en la compra-venta de energía y en el cálculo de gastos.

## 6.3.1.7. Flujo de Caja y Rentabilidad

Los flujos de caja calculados para 25 años de actividad de la instalación se detallan en la siguiente tabla:

| CUENTA DE RESULTADOS |            |          |            |          |          |            |            |
|----------------------|------------|----------|------------|----------|----------|------------|------------|
| AÑO                  | AHORROS    | GASTOS   | EBITDA     | AMORTIZ. | INTERÉS  | BN         | CASH FLOW  |
| 0                    | 0,00 €     | 0,00 €   | 0,00 €     | 0,00 €   | 0,00 €   | 0,00 €     | 0,00 €     |
| 1                    | 4.604,31 € | 166,39 € | 4.437,92 € | 579,58 € | 301,85 € | 3.556,49 € | 4.136,07 € |
| 2                    | 4.636,89 € | 167,75 € | 4.469,14 € | 579,58 € | 326,80 € | 3.562,76 € | 4.142,33 € |
| 3                    | 4.646,08 € | 169,15 € | 4.476,93 € | 579,58 € | 290,49 € | 3.606,86 € | 4.186,44 € |
| 4                    | 4.641,97 € | 170,60 € | 4.471,37 € | 579,58 € | 254,18 € | 3.637,62 € | 4.217,20 € |
| 5                    | 4.624,86 € | 172,09 € | 4.452,77 € | 579,58 € | 217,87 € | 3.655,33 € | 4.234,90 € |
| 6                    | 4.595,29 € | 173,62 € | 4.421,67 € | 579,58 € | 181,56 € | 3.660,54 € | 4.240,11 € |
| 7                    | 4.554,04 € | 175,20 € | 4.378,85 € | 579,58 € | 145,25 € | 3.654,03 € | 4.233,60 € |
| 8                    | 4.502,13 € | 176,82 € | 4.325,31 € | 579,58 € | 108,93 € | 3.636,80 € | 4.216,38 € |
| 9                    | 4.440,75 € | 178,50 € | 4.262,25 € | 579,58 € | 72,62 €  | 3.610,06 € | 4.189,63 € |
| 10                   | 4.371,24 € | 180,22 € | 4.191,02 € | 579,58 € | 36,31 €  | 3.575,13 € | 4.154,71 € |
| 11                   | 4.295,06 € | 182,00 € | 4.113,06 € | 569,58 € | 0,00 €   | 3.543,49 € | 4.113,06 € |
| 12                   | 4.213,74 € | 183,83 € | 4.029,91 € | 569,58 € | 0,00 €   | 3.460,34 € | 4.029,91 € |
| 13                   | 4.128,84 € | 185,71 € | 3.943,13 € | 569,58 € | 0,00 €   | 3.373,55 € | 3.943,13 € |
| 14                   | 3.843,38 € | 187,66 € | 3.655,72 € | 569,58 € | 0,00 €   | 3.086,15 € | 3.655,72 € |
| 15                   | 3.526,64 € | 189,66 € | 3.336,98 € | 569,58 € | 0,00 €   | 2.767,41 € | 3.336,98 € |
| 16                   | 3.213,52 € | 191,71 € | 3.021,81 € | 569,58 € | 0,00 €   | 2.452,23 € | 3.021,81 € |
| 17                   | 2.907,76 € | 193,84 € | 2.713,92 € | 569,58 € | 0,00 €   | 2.144,35 € | 2.713,92 € |
| 18                   | 2.612,62 € | 196,02 € | 2.416,60 € | 569,58 € | 0,00 €   | 1.847,03 € | 2.416,60 € |
| 19                   | 2.330,90 € | 198,27 € | 2.132,63 € | 569,58 € | 0,00 €   | 1.563,05 € | 2.132,63 € |
| 20                   | 2.064,85 € | 200,59 € | 1.864,26 € | 569,58 € | 0,00 €   | 1.294,68 € | 1.864,26 € |
| 21                   | 1.816,19 € | 202,98 € | 1.613,21 € | 569,58 € | 0,00 €   | 1.043,63 € | 1.613,21 € |
| 22                   | 1.586,12 € | 205,44 € | 1.380,68 € | 569,58 € | 0,00 €   | 811,11 €   | 1.380,68 € |
| 23                   | 1.375,36 € | 207,97 € | 1.167,39 € | 569,58 € | 0,00 €   | 597,81 €   | 1.167,39 € |
| 24                   | 1.184,14 € | 210,58 € | 973,56 €   | 569,58 € | 0,00 €   | 403,99 €   | 973,56 €   |
| 25                   | 1.012,32 € | 213,27 € | 799,05 €   | 569,58 € | 0,00 €   | 229,47 €   | 799,05 €   |

**Tabla 68.** Ejemplo 20A - Cuenta de Resultados

A partir de estos resultados, se estudia la rentabilidad del proyecto.

En la siguiente tabla se muestra el resultado de la estimación del VAN ( $k=7\%$ ) para cada uno de los años.

Se ha marcado en color naranja el año para el año 8 ya que es el periodo para el que el VAN comienza a ser positivo, por lo que se recupera la inversión inicial y comienzan a producirse beneficios reales.

Un VAN mayor que 0 indica que el proyecto es viable económicamente.

| RENTABILIDAD      |            |                      |              |
|-------------------|------------|----------------------|--------------|
| Inversión Inicial |            |                      | 22.694,56 €  |
| AÑO               | CASH FLOW  | CASH FLOW DESCONTADO | VAN          |
| 0                 | 0,00 €     | 0,00 €               | -22.694,56 € |
| 1                 | 4.136,07 € | 3.865,48 €           | -18.829,08 € |
| 2                 | 4.142,33 € | 3.618,07 €           | -15.211,00 € |
| 3                 | 4.186,44 € | 3.417,38 €           | -11.793,62 € |
| 4                 | 4.217,20 € | 3.217,28 €           | -8.576,35 €  |
| 5                 | 4.234,90 € | 3.019,43 €           | -5.556,92 €  |
| 6                 | 4.240,11 € | 2.825,37 €           | -2.731,55 €  |
| 7                 | 4.233,60 € | 2.636,47 €           | -95,08 €     |
| 8                 | 4.216,38 € | 2.453,97 €           | 2.358,89 €   |
| 9                 | 4.189,63 € | 2.278,88 €           | 4.637,77 €   |
| 10                | 4.154,71 € | 2.112,04 €           | 6.749,82 €   |
| 11                | 4.113,06 € | 1.954,09 €           | 8.703,90 €   |
| 12                | 4.029,91 € | 1.789,33 €           | 10.493,23 €  |
| 13                | 3.943,13 € | 1.636,26 €           | 12.129,49 €  |
| 14                | 3.655,72 € | 1.417,75 €           | 13.547,24 €  |
| 15                | 3.336,98 € | 1.209,48 €           | 14.756,72 €  |
| 16                | 3.021,81 € | 1.023,59 €           | 15.780,31 €  |
| 17                | 2.713,92 € | 859,16 €             | 16.639,47 €  |
| 18                | 2.416,60 € | 714,99 €             | 17.354,45 €  |
| 19                | 2.132,63 € | 589,69 €             | 17.944,14 €  |
| 20                | 1.864,26 € | 481,76 €             | 18.425,90 €  |
| 21                | 1.613,21 € | 389,61 €             | 18.815,51 €  |
| 22                | 1.380,68 € | 311,64 €             | 19.127,15 €  |
| 23                | 1.167,39 € | 246,26 €             | 19.373,41 €  |
| 24                | 973,56 €   | 191,93 €             | 19.565,34 €  |
| 25                | 799,05 €   | 147,22 €             | 19.712,56 €  |

**Tabla 69.** Ejemplo 20A – Rentabilidad

El plazo de recuperación de la inversión inicial es:

|                            |
|----------------------------|
| <b>PAY-BACK DESCONTADO</b> |
| 7 Años                     |

**Tabla 70.** Ejemplo 20A - Pay-Back Descontado

El valor de la TIR para los años 10 (horizonte temporal del proyecto) y 25 (estimación futura) se indican a continuación:

| TIR    |     |
|--------|-----|
| AÑO 10 | 13% |
| AÑO 15 | 16% |
| AÑO 25 | 17% |

**Tabla 71.** Ejemplo 20A - Resultado TIR

El resultado del cálculo de la TIR es superior a la rentabilidad del 7% exigida por lo que se demuestra que el proyecto es capaz de generar valor y resulta rentable la inversión en él.

### 6.3.2.EJEMPLO 20B: Paneles Reutilizados

En el Ejemplo 20B se procede a la realización de una instalación de potencia 20kW conectada a la red mediante paneles reutilizados. En primer lugar se calcula la potencia ofrecida por cada panel, para determinar el número de módulos necesarios para construir la instalación.

Teniendo en cuenta las tasas de degradación de los paneles en función de la tecnología empleada (Ver Apartado 2.5, *Tabla 2. Porcentaje anual de Degradación en función del Tipo de Tecnología*), tomamos el valor que se adapta al caso de estudio.

En este ejemplo, la tasa de degradación será del 0,64% pues estamos trabajando con paneles de silicio policristalino de 15 años, por lo que fueron instalados después del año 2000.

Para paneles policristalinos de 330 Wp reutilizados que han consumido 15 años de su vida útil, el porcentaje de degradación de sus células se calculará de la misma forma que en el *Ejemplo 5B*:

#### *Degradación Panel*

$$\begin{aligned} &= \text{Tasa degradación (\% anual)} \times N^{\circ}\text{Años de uso} \times \text{Potencia} \\ &= 0.0064 \left( \frac{\text{Degradación}}{\text{año}} \right) \times 15(\text{Años}) \times 330(W) \\ &= 31,68W \text{ de degradación} \end{aligned}$$

**Ecuación 8.** *Ejemplo 20B - Cálculo de la degradación del panel reutilizado.*

Por lo tanto, la potencia ofrecida por el panel reutilizado será de 298,32 W:

$$\begin{aligned} \text{Potencia Panel Reutilizado} &= \text{Potencia Inicial} - \text{Degradación Panel} \\ &= 330(W) - 31,68(W \text{ degradados}) = 298,32 W \end{aligned}$$

**Ecuación 9.** *Ejemplo 20B - Potencia ofrecida por panel reutilizado*

Una potencia de 298,32 W con respecto a los 330 Wp que ofrecía el panel en su adquisición supone un rendimiento del 90,4%.

Para realizar una instalación de 20kW mediante paneles que ofrecen una potencia pico de 298,32 Wp necesitaremos 67 paneles.

Las características de la instalación a construir en este caso son las siguientes:

| EJEMPLO 20B - CARACTERÍSTICAS GENERALES |              |
|---|--------------|
| Tipo de Superficie                      | Tejado plano |
| Inclinación                             | 30°          |
| Orientación                             | Sur          |
| Zona Geográfica                         | Zona IV      |
| Potencia pico instalada                 | 19.987,44 Wp |
| Potencia Inicial Panel                  | 330 Wp       |
| Potencia Real Panel                     | 298,32 Wp    |
| Nº Paneles                              | 67           |
| Potencia Inversor                       | 20 kW        |

*Tabla 72. Ejemplo 20B - Características Generales*

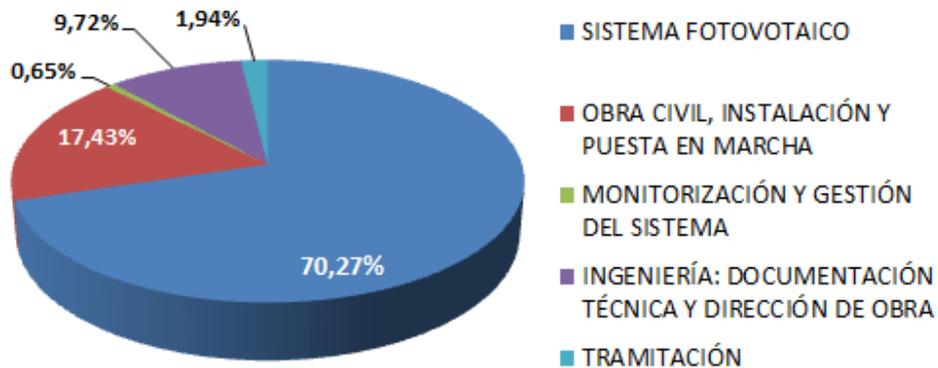
### 6.3.2.1. Inversión Inicial

El desembolso inicial para este ejemplo se detalla en la siguiente tabla:

| EJEMPLO 20B - PRESUPUESTO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA 20KW                     |          |               |                    |
|---|----------|---------------|--------------------|
| SISTEMA FOTOVOTAICO   | Cantidad | Precio (€/ud) | Precio TOTAL       |
| Paneles Fotovoltaicos (YINGLI Solar 330Wp)                                  | 67       | 60,64 €       | 4.062,88 €         |
| Inversor (Symo 20,0-3-M FRONIUS)  | 1        | 3.000,00 €    | 3.000,00 €         |
| Protecciones  | 1        | 300,00 €      | 300,00 €           |
| Contador  | 1        | 150,00 €      | 150,00 €           |
| Estructura de Soporte   | 1        | 1.800,00 €    | 1.800,00 €         |
| Cuadro eléctrico, cableado, conexiones, etc                                 | 1        | 1.575,00 €    | 1.575,00 €         |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>10.887,88 €</b> |
| OBRA CIVIL, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA                                  |          |               |                    |
| Mano de Obra Montaje Estructura, Instalación Equipos, Cableado y Conexiones |          |               | 2.700,00 €         |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>2.700,00 €</b>  |
| MONITORIZACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA  |          |               |                    |
| Sistema de monitorización y gestión   |          |               | 100,00 €           |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>100,00 €</b>    |
| INGENIERÍA: DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Y DIRECCIÓN DE OBRA                       |          |               |                    |
| Realización del proyecto (8% PEM)   |          |               | 1.095,03 €         |
| Dirección de Obra (3% PEM)  |          |               | 410,64 €           |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>1.505,67 €</b>  |
| TRAMITACIÓN   |          |               |                    |
| Gestión y tramitación de permisos, licencias y conexión a red               |          |               | 300,00 €           |
| <b>Total</b>  |          |               | <b>300,00 €</b>    |
| <b>TOTAL</b>  |          |               | <b>15.493,55 €</b> |
| <b>IVA (21%)</b>  |          |               | <b>3.253,64 €</b>  |
| <b>PRESUPUESTO TOTAL</b>  |          |               | <b>18.747,19 €</b> |

*Tabla 73. Ejemplo 20B – Presupuesto Inversión Inicial*

La distribución del presupuesto por partidas de inversión es la siguiente:



*Ilustración 74. Ejemplo 20B – Diagrama Distribución del Presupuesto*

### 6.3.2.2. Financiación

La financiación se realizará de la siguiente forma:

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| <b>Presupuesto total</b>    | 18.747,19 €         |
| <b>Fondos propios (20%)</b> | 3.749,44 €          |
| <b>Préstamo (80%)</b>       | 14.997,75 €         |
| <b>Tipo de interés</b>      | 2,00%               |
| <b>Años Crédito</b>         | 10                  |
| <b>Forma de liquidación</b> | Amortización Lineal |

*Tabla 74. Ejemplo 20B - Financiación*

La devolución del préstamo se efectuará como se indica en la siguiente tabla:

| AÑO | PRINCIPAL  | INTERESES | CUOTA ANUAL | DEUDA VIVA  |
|-----|------------|-----------|-------------|-------------|
| 0   | 0,00 €     | 0,00 €    | 0,00 €      | 0,00 €      |
| 1   | 1.499,78 € | 299,96 €  | 1.799,73 €  | 13.497,98 € |
| 2   | 1.499,78 € | 269,96 €  | 1.769,73 €  | 11.998,20 € |
| 3   | 1.499,78 € | 239,96 €  | 1.739,74 €  | 10.498,43 € |
| 4   | 1.499,78 € | 209,97 €  | 1.709,74 €  | 8.998,65 €  |
| 5   | 1.499,78 € | 179,97 €  | 1.679,75 €  | 7.498,88 €  |
| 6   | 1.499,78 € | 149,98 €  | 1.649,75 €  | 5.999,10 €  |
| 7   | 1.499,78 € | 119,98 €  | 1.619,76 €  | 4.499,33 €  |
| 8   | 1.499,78 € | 89,99 €   | 1.589,76 €  | 2.999,55 €  |
| 9   | 1.499,78 € | 59,99 €   | 1.559,77 €  | 1.499,78 €  |
| 10  | 1.499,78 € | 30,00 €   | 1.529,77 €  | 0 €         |

*Tabla 75. Ejemplo 20B - Devolución Préstamo*

### 6.3.2.3. Amortizaciones

La amortización de los elementos del sistema es de 25 años, a excepción del sistema de monitorización (10 años) y de los paneles, que por ser elementos de segundo uso, será de 13 años.

| ACTIVO                                      | AMORTIZACIÓN |               |                    |
|---|--------------|---------------|--------------------|
|   | Valor        | Tiempo (Años) | Amortización ANUAL |
| Paneles Fotovoltaicos (YINGLI Solar 330Wp)  | 4.062,88 €   | 13            | 312,53 €           |
| Inversor (Symo 20,0-3-M FRONIUS)            | 3.000,00 €   | 25            | 120,00 €           |
| Protecciones                                | 300,00 €     | 25            | 12,00 €            |
| Contador                                    | 150,00 €     | 25            | 6,00 €             |
| Estructura de Soporte                       | 1.800,00 €   | 25            | 72,00 €            |
| Cuadro eléctrico, cableado, conexiones, etc | 1.575,00 €   | 25            | 63,00 €            |
| Sistema de Monitorización y Gestión         | 100,00 €     | 10            | 10,00 €            |
| <b>TOTAL</b>                                |              |               | <b>595,53 €</b>    |

**Tabla 76.** Ejemplo 20B - Amortizaciones

### 6.3.2.4. Ahorros

De la misma forma que en ejemplos anteriores, se calcula un valor aproximado de energía anual producida y se estiman, a partir de él, el autoconsumo y los excedentes

Utilizo PVGIS para obtener el valor de la energía producida. Los datos introducidos han sido los siguientes:

| DATOS INTRODUCIDOS      | VALOR              |
|-------------------------|--------------------|
| Ubicación [Lat/Lon]     | (39.492, - 1.104)  |
| Horizonte               | Calculado          |
| Base de datos utilizada | PVGIS-CMSAF        |
| Tecnología Fotovoltaica | Silicio Cristalino |
| PV instalado [kWp]      | 19,987             |
| Pérdida del sistema [%] | 14                 |
| Ángulo de inclinación   | 30                 |
| Ángulo de Acimut        | 0                  |

**Tabla 77.** Ejemplo 20B - Datos Proporcionados a PVGIS

Resultados de la simulación:

| SALIDAS DE SIMULACIÓN                  | VALOR    |
|--|----------|
| Producción anual de Energía FV [kWh]   | 30113,03 |
| Irradiación anual en el plano [kWh/m2] | 2000,4   |
| Variabilidad año a año [kWh]           | 943,01   |
| Cambios en la producción debidos a:    |          |
| · Ángulo de incidencia [%]             | -2,69    |
| · Efectos espectrales[%]               | 0,55     |
| · Temperatura y baja irradiancia[%]    | -10,5    |
| Pérdida Total [%]                      | -24,69   |

Tabla 78. Ejemplo 20B - Datos de Salida Calculados por PVGIS

Gráfica de la producción mensual:

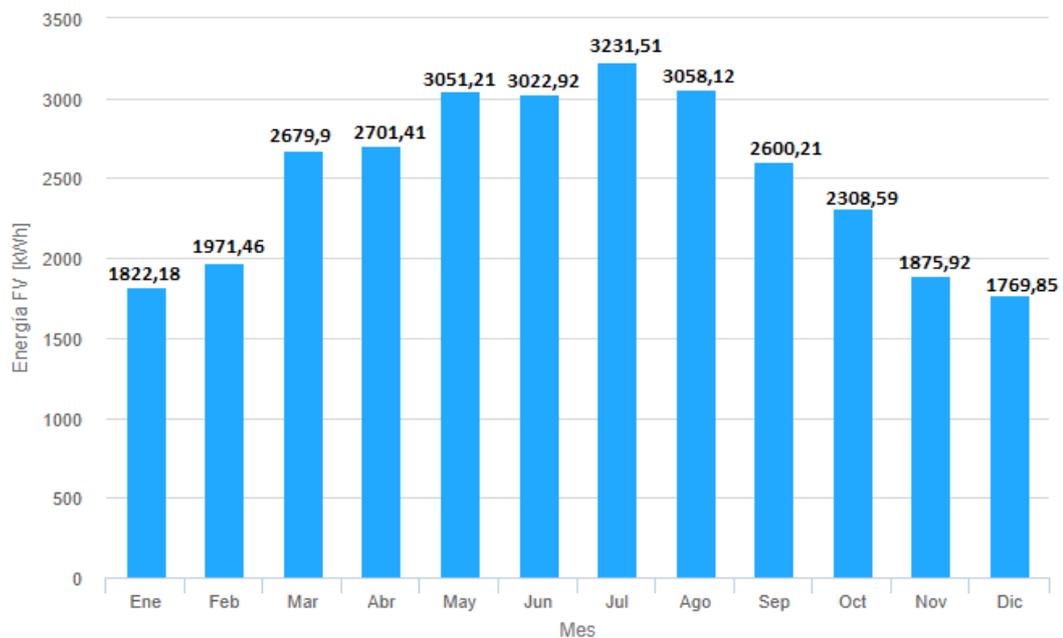


Ilustración 75. Ejemplo 20B - Producción de Energía Mensual Generada

Los datos de partida para el cálculo de ahorros son:

| Ejemplo 20B - Datos para Cálculo de ahorros |               |
|---|---------------|
| Producción Eléctrica                        | 30.113,03 kWh |
| Consumo Eléctrico                           | 17.952 kWh    |
| Tasa Degradación                            | 0,64          |
| IPC   | 1%            |

Tabla 79. Ejemplo 20B - Datos para el Cálculo de Ahorros

Donde la producción eléctrica toma el valor proporcionado por PVGIS, el consumo eléctrico es el estimado en el ejemplo anterior para una instalación de 20 kW, la tasa de degradación es de 0,64 por tratarse de paneles policristalinos cuya primera instalación se produjo después del 2000.

La información sobre la tarifa eléctrica contratada es la misma que para el ejemplo anterior:

| Ejemplo 20B - Características Tarifa Contratada |                   |
|---|-------------------|
| Potencia  | 20 kW             |
| Término de Potencia                             | 3,4297 €/kW y mes |
| Término de Energía                              | 0,119893 €/kWh    |
| Alquiler equipo medida                          | 0,02659 €/día     |
| Precio Compensación Excedentes                  | 0,054 €/kWh       |

**Tabla 80.** Ejemplo 20B - Características Tarifa Contratada

El resultado del cálculo de los valores de producción, autoconsumo y excedentes anuales se muestran en la siguiente tabla:

| PRODUCCIÓN. AUTOCONSUMO Y EXCEDENTES |                           |  |                  |                   |                  |
|--------------------------------------|---------------------------|--|------------------|-------------------|------------------|
| AÑO                                  | Pérdida de Eficiencia (%) | Pérdida de Producción por Eficiencia (kWh) | Producción (kWh) | Autoconsumo (kWh) | Excedentes (kWh) |
| 0                                    | 0                         | 0  | 0                | 0                 | 0                |
| 1                                    | 0,64                      | 192,72                                     | 30113,03         | 17952,00          | 12161,03         |
| 2                                    | 1,28                      | 382,98                                     | 29920,31         | 17952,00          | 11968,31         |
| 3                                    | 1,92                      | 567,12                                     | 29537,33         | 17952,00          | 11585,33         |
| 4                                    | 2,56                      | 741,64                                     | 28970,21         | 17952,00          | 11018,21         |
| 5                                    | 3,2                       | 903,31                                     | 28228,57         | 17952,00          | 10276,57         |
| 6                                    | 3,84                      | 1049,29                                    | 27325,26         | 17952,00          | 9373,26          |
| 7                                    | 4,48                      | 1177,16                                    | 26275,97         | 17952,00          | 8323,97          |
| 8                                    | 5,12                      | 1285,06                                    | 25098,81         | 17952,00          | 7146,81          |
| 9                                    | 5,76                      | 1371,67                                    | 23813,75         | 17952,00          | 5861,75          |
| 10                                   | 6,4                       | 1436,29                                    | 22442,07         | 17952,00          | 4490,07          |
| 11                                   | 7,04                      | 1478,81                                    | 21005,78         | 17952,00          | 3053,78          |
| 12                                   | 7,68                      | 1499,67                                    | 19526,97         | 17952,00          | 1574,97          |
| 13                                   | 8,32                      | 1499,87                                    | 18027,30         | 17952,00          | 75,30            |
| 14                                   | 8,96                      | 1480,86                                    | 16527,43         | 16527,43          | 0,00             |
| 15                                   | 9,6                       | 1444,47                                    | 15046,57         | 15046,57          | 0,00             |

**Tabla 81.** Ejemplo 20B - Producción. Autoconsumo y Excedentes

El ahorro para esta instalación se detalla a continuación:

|     |         | TÉRMINO VARIABLE   |                |            |            |                  |                |            |                 |
|-----|---------|--------------------|----------------|------------|------------|------------------|----------------|------------|-----------------|
|     |         | AUTOCONSUMO        |                |            | PEAJE      | EXCEDENTES       |                |            |                 |
| AÑO | IPC (%) | Auto-consumo (kWh) | Precio (€/kWh) | Ahorro (€) | Ahorro (€) | Excedentes (kWh) | Precio (€/kWh) | Ahorro (€) | SUB-TOTAL 1 (€) |
| 0   | 0       | 0,00               | 0,00000        | 0,00       | 0,00       | 0,00             | 0              | 0,00       | 0,00            |
| 1   | 1       | 17952,00           | 0,11989        | 2152,32    | 790,37     | 12161,03         | 0,05400        | 656,70     | 3599,39         |
| 2   | 1       | 17952,00           | 0,12109        | 2173,84    | 798,28     | 11968,31         | 0,05454        | 652,75     | 3624,87         |
| 3   | 1       | 17952,00           | 0,12230        | 2195,58    | 798,28     | 11585,33         | 0,05509        | 638,18     | 3632,04         |
| 4   | 1       | 17952,00           | 0,12353        | 2217,54    | 798,28     | 11018,21         | 0,05564        | 613,01     | 3628,82         |
| 5   | 1       | 17952,00           | 0,12476        | 2239,71    | 798,28     | 10276,57         | 0,05619        | 577,47     | 3615,46         |
| 6   | 1       | 17952,00           | 0,12601        | 2262,11    | 798,28     | 9373,26          | 0,05675        | 531,97     | 3592,36         |
| 7   | 1       | 17952,00           | 0,12727        | 2284,73    | 798,28     | 8323,97          | 0,05732        | 477,15     | 3560,15         |
| 8   | 1       | 17952,00           | 0,12854        | 2307,58    | 798,28     | 7146,81          | 0,05790        | 413,77     | 3519,62         |
| 9   | 1       | 17952,00           | 0,12983        | 2330,65    | 798,28     | 5861,75          | 0,05847        | 342,76     | 3471,69         |
| 10  | 1       | 17952,00           | 0,13113        | 2353,96    | 798,28     | 4490,07          | 0,05906        | 265,18     | 3417,42         |
| 11  | 1       | 17952,00           | 0,13244        | 2377,50    | 798,28     | 3053,78          | 0,05965        | 182,16     | 3357,93         |
| 12  | 1       | 17952,00           | 0,13376        | 2401,27    | 798,28     | 1574,97          | 0,06025        | 94,89      | 3294,44         |
| 13  | 1       | 17952,00           | 0,13510        | 2425,29    | 798,28     | 75,30            | 0,06085        | 4,58       | 3228,15         |
| 14  | 1       | 16527,43           | 0,13645        | 2255,16    | 734,93     | 0,00             | 0,06146        | 0,00       | 2990,09         |
| 15  | 1       | 15046,57           | 0,13781        | 2073,63    | 669,08     | 0,00             | 0,06207        | 0,00       | 2742,71         |

Tabla 82. Ejemplo 20B - Cálculo del Ahorro

El ahorro total, una vez considerados los impuestos y el ahorro debido al alquiler del equipo se detallan a continuación:

| AHORRO TOTAL |                |                                |                               |                |                              |
|--------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|
| AÑO          | SUBTOTAL 1 (€) | Impuesto Eléctrico (5,11%) (€) | Ahorro Alquiler de Equipo (€) | SUBTOTAL 2 (€) | AHORRO TOTAL + IVA (21%) (€) |
| 0            | 0,00           | 0,00                           | 0,00                          | 0,00           | 0,00                         |
| 1            | 3599,39        | 183,93                         | 9,71                          | 3793,02        | 4589,56                      |
| 2            | 3624,87        | 185,23                         | 9,80                          | 3819,90        | 4622,08                      |
| 3            | 3632,04        | 185,60                         | 9,90                          | 3827,54        | 4631,32                      |
| 4            | 3628,82        | 185,43                         | 10,00                         | 3824,26        | 4627,35                      |
| 5            | 3615,46        | 184,75                         | 10,10                         | 3810,31        | 4610,47                      |
| 6            | 3592,36        | 183,57                         | 10,20                         | 3786,13        | 4581,22                      |
| 7            | 3560,15        | 181,92                         | 10,30                         | 3752,38        | 4540,38                      |
| 8            | 3519,62        | 179,85                         | 10,41                         | 3709,88        | 4488,95                      |
| 9            | 3471,69        | 177,40                         | 10,51                         | 3659,60        | 4428,12                      |
| 10           | 3417,42        | 174,63                         | 10,61                         | 3602,66        | 4359,22                      |
| 11           | 3357,93        | 171,59                         | 10,72                         | 3540,24        | 4283,69                      |
| 12           | 3294,44        | 168,35                         | 10,83                         | 3473,61        | 4203,07                      |
| 13           | 3228,15        | 164,96                         | 10,94                         | 3404,04        | 4118,89                      |
| 14           | 2990,09        | 152,79                         | 11,05                         | 3153,93        | 3816,25                      |
| 15           | 2742,71        | 140,15                         | 11,16                         | 2894,02        | 3501,76                      |

Tabla 83. Ejemplo 20B - Ahorro Total

### 6.3.2.5. Gastos

De la misma forma que en el ejemplo anterior, los gastos se deben a: 100€ anuales fijos de mantenimiento y operación y costes debidos al seguro (0.2% anual del presupuesto total de la instalación (sin IVA) y un aumento anual del 3% sobre este valor).

| GASTOS |                           |         |          |                          |
|--------|---------------------------|---------|----------|--------------------------|
| AÑO    | MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN | SEGURO  | TOTAL    | TOTAL GASTOS + IVA (21%) |
| 0      | 0,00 €                    | 0,00 €  | 0,00 €   | 0,00 €                   |
| 1      | 100,00 €                  | 30,99 € | 130,99 € | 158,49 €                 |
| 2      | 100,00 €                  | 31,92 € | 131,92 € | 159,62 €                 |
| 3      | 100,00 €                  | 32,87 € | 132,87 € | 160,78 €                 |
| 4      | 100,00 €                  | 33,86 € | 133,86 € | 161,97 €                 |
| 5      | 100,00 €                  | 34,88 € | 134,88 € | 163,20 €                 |
| 6      | 100,00 €                  | 35,92 € | 135,92 € | 164,47 €                 |
| 7      | 100,00 €                  | 37,00 € | 137,00 € | 165,77 €                 |
| 8      | 100,00 €                  | 38,11 € | 138,11 € | 167,11 €                 |
| 9      | 100,00 €                  | 39,25 € | 139,25 € | 168,50 €                 |
| 10     | 100,00 €                  | 40,43 € | 140,43 € | 169,92 €                 |
| 11     | 100,00 €                  | 41,64 € | 141,64 € | 171,39 €                 |
| 12     | 100,00 €                  | 42,89 € | 142,89 € | 172,90 €                 |
| 13     | 100,00 €                  | 44,18 € | 144,18 € | 174,46 €                 |
| 14     | 100,00 €                  | 45,51 € | 145,51 € | 176,06 €                 |
| 15     | 100,00 €                  | 46,87 € | 146,87 € | 177,71 €                 |

**Tabla 84.** Ejemplo 20B - Gastos

### 6.3.2.6. Impuestos

Según el Real Decreto 244/2019, las instalaciones de autoconsumo están exentas de impuestos específicos.

El impuesto eléctrico ha sido considerado en el estudio del ahorro debido al autoconsumo y el IVA se ha tenido en cuenta en el precio de la instalación, en la compra-venta de energía y en el cálculo de gastos.

## 6.3.2.7. Flujo de Caja y Rentabilidad

Los flujos de caja estimados para 15 años de actividad son los siguientes:

| CUENTA DE RESULTADOS |            |          |            |          |          |            |            |
|----------------------|------------|----------|------------|----------|----------|------------|------------|
| AÑO                  | AHORROS    | GASTOS   | EBITDA     | AMORTIZ. | INTERÉS  | BN         | CASH FLOW  |
| 0                    | 0,00 €     | 0,00 €   | 0,00 €     | 0,00 €   | 0,00 €   | 0,00 €     | 0,00 €     |
| 1                    | 4.589,56 € | 158,49 € | 4.431,06 € | 595,53 € | 299,96 € | 3.535,58 € | 4.131,11 € |
| 2                    | 4.622,08 € | 159,62 € | 4.462,46 € | 595,53 € | 269,96 € | 3.596,98 € | 4.192,50 € |
| 3                    | 4.631,32 € | 160,78 € | 4.470,54 € | 595,53 € | 239,96 € | 3.635,05 € | 4.230,58 € |
| 4                    | 4.627,35 € | 161,97 € | 4.465,38 € | 595,53 € | 209,97 € | 3.659,88 € | 4.255,41 € |
| 5                    | 4.610,47 € | 163,20 € | 4.447,27 € | 595,53 € | 179,97 € | 3.671,77 € | 4.267,30 € |
| 6                    | 4.581,22 € | 164,47 € | 4.416,75 € | 595,53 € | 149,98 € | 3.671,24 € | 4.266,77 € |
| 7                    | 4.540,38 € | 165,77 € | 4.374,61 € | 595,53 € | 119,98 € | 3.659,10 € | 4.254,63 € |
| 8                    | 4.488,95 € | 167,11 € | 4.321,84 € | 595,53 € | 89,99 €  | 3.636,32 € | 4.231,85 € |
| 9                    | 4.428,12 € | 168,50 € | 4.259,62 € | 595,53 € | 59,99 €  | 3.604,10 € | 4.199,63 € |
| 10                   | 4.359,22 € | 169,92 € | 4.189,30 € | 595,53 € | 30,00 €  | 3.563,77 € | 4.159,30 € |
| 11                   | 4.283,69 € | 171,39 € | 4.112,31 € | 585,53 € | 0,00 €   | 3.526,78 € | 4.112,31 € |
| 12                   | 4.203,07 € | 172,90 € | 4.030,17 € | 585,53 € | 0,00 €   | 3.444,64 € | 4.030,17 € |
| 13                   | 4.118,89 € | 174,46 € | 3.944,43 € | 585,53 € | 0,00 €   | 3.358,90 € | 3.944,43 € |
| 14                   | 3.816,25 € | 176,06 € | 3.640,19 € | 273,00 € | 0,00 €   | 3.367,19 € | 3.640,19 € |
| 15                   | 3.501,76 € | 177,71 € | 3.324,05 € | 273,00 € | 0,00 €   | 3.051,05 € | 3.324,05 € |

**Tabla 85.** Ejemplo 20B - Cuenta de Resultados

Calcule el valor del VAN ( $k=7\%$ ) para cada uno de los años a partir de los flujos de caja estimados. Se ha marcado en color naranja el año para el que el VAN comienza a ser positivo.

| RENTABILIDAD      |            |                      |              |
|-------------------|------------|----------------------|--------------|
| Inversión Inicial |            |                      | 18.747,19 €  |
| AÑO               | CASH FLOW  | CASH FLOW DESCONTADO | VAN          |
| 0                 | 0,00 €     | 0,00 €               | -18.747,19 € |
| 1                 | 4.131,11 € | 3.860,85 €           | -14.886,34 € |
| 2                 | 4.192,50 € | 3.661,90 €           | -11.224,45 € |
| 3                 | 4.230,58 € | 3.453,41 €           | -7.771,04 €  |
| 4                 | 4.255,41 € | 3.246,43 €           | -4.524,60 €  |
| 5                 | 4.267,30 € | 3.042,52 €           | -1.482,08 €  |
| 6                 | 4.266,77 € | 2.843,13 €           | 1.361,05 €   |
| 7                 | 4.254,63 € | 2.649,57 €           | 4.010,62 €   |
| 8                 | 4.231,85 € | 2.462,98 €           | 6.473,60 €   |
| 9                 | 4.199,63 € | 2.284,32 €           | 8.757,92 €   |
| 10                | 4.159,30 € | 2.114,38 €           | 10.872,30 €  |
| 11                | 4.112,31 € | 1.953,73 €           | 12.826,02 €  |
| 12                | 4.030,17 € | 1.789,44 €           | 14.615,47 €  |
| 13                | 3.944,43 € | 1.636,80 €           | 16.252,26 €  |
| 14                | 3.640,19 € | 1.411,73 €           | 17.663,99 €  |
| 15                | 3.324,05 € | 1.204,79 €           | 18.868,78 €  |

**Tabla 86.** Ejemplo 20B - Rentabilidad

El valor del VAN es positivo a partir del año 6, por lo que se recupera la inversión inicial y comienzan a producirse beneficios reales.

El proyecto resulta rentable económicamente.

El plazo de recuperación de la inversión inicial es:

| PAY-BACK DESCONTADO |  |
|---------------------|--|
| 5 Años y 6 Meses    |  |

**Tabla 87.** Ejemplo 20B - Pay-Back Descontado

El valor de la TIR para los años 10 (horizonte temporal del proyecto) y 15 (estimación futura) se indican a continuación:

| TIR    |     |
|--------|-----|
| AÑO 10 | 18% |
| AÑO 15 | 21% |

**Tabla 88.** Ejemplo 20B - Resultado TIR

La TIR para el año 10 es mucho mayor al valor de rentabilidad exigida al proyecto (7%). La inversión es rentable.

## 6.3.3. Análisis Comparativo de los Resultados

➤ EJEMPLO 20A:

El análisis económico del ejemplo 20A proporciona los siguientes resultados:

| <b>EJEMPLO 20A - RESULTADOS</b>         |             |
|---|-------------|
| <b>Resultados Físicos</b>               |             |
| Nº Paneles                              | 61          |
| Superficie ocupada por los paneles (m2) | 121,02      |
| Potencia por Panel (Wp)                 | 330         |
| <b>Resultados Energéticos</b>           |             |
| Producción Media Anual (kWh)            | 27.366,34   |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)           | 17.952,00   |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)         | 9.414,34    |
| <b>Resultados Económicos</b>            |             |
| Desembolso Inicial en Paneles           | 7.930,00 €  |
| Inversión Inicial                       | 22.694,56 € |
| Préstamo Total                          | 18.155,65 € |
| Amortización Anual                      | 579,58 €    |
| Gastos - Media Anual                    | 173,03 €    |
| Pay-Back Descuento                      | 7 Años      |
| Cash Flow Acumulado (Año 10)            | 41.951,37 € |
| VAN (Año 10)                            | 6.749,82 €  |
| Rentabilidad - TIR (Año 10)             | 13%         |

*Tabla 89. Resultados Ejemplo 20A*

➤ EJEMPLO 20B:

Del estudio del ejemplo 20B se han obtenido los siguientes resultados:

| <b>EJEMPLO 20B - RESULTADOS</b>         |             |
|---|-------------|
| <b>Resultados Físicos</b>               |             |
| Nº Paneles                              | 67          |
| Superficie ocupada por los paneles (m2) | 132,93      |
| Potencia por Panel (Wp)                 | 298,32      |
| <b>Resultados energéticos</b>           |             |
| Producción Media Anual (kWh)            | 27.172,53   |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)           | 17.952,00   |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)         | 9.220,53    |
| <b>Resultados económicos</b>            |             |
| Desembolso Inicial en Paneles           | 4.062,88 €  |
| Inversión Inicial                       | 18.747,19 € |
| Préstamo Total                          | 14.997,75 € |
| Amortización Anual                      | 595,53 €    |
| Gastos - Media Anual                    | 163,98 €    |

|                              |                  |
|------------------------------|------------------|
| Pay-Back Descontado          | 5 Años y 6 Meses |
| Cash Flow Acumulado (Año 10) | 42.189,09 €      |
| VAN (Año 10)                 | 10.872,30 €      |
| Rentabilidad - TIR (Año 10)  | 18%              |

**Tabla 90.** Resultados Ejemplo 20B

❖ COMPARACIÓN DE RESULTADOS:

El estudio de las instalaciones fotovoltaicas de 20 kW realizadas a partir de paneles nuevos (ejemplo 20A) y de paneles reutilizados (ejemplo 20B) proporciona los siguientes resultados y diferencias en valor absoluto y porcentual:

| <b>CASO 2: INSTALACIÓN FV DE 20 kW</b>           |                        |                        |                             |                           |
|--|------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|  | <b>EJEMPLO<br/>20A</b> | <b>EJEMPLO<br/>20B</b> | <b>Diferencia<br/>Total</b> | <b>Diferencia<br/>(%)</b> |
| <b>RESULTADOS FÍSICOS</b>                        |                        |                        |                             |                           |
| Nº Paneles                                       | 61                     | 67                     | <b>6</b>                    | <b>9,84%</b>              |
| Superficie Ocupada por paneles (m <sup>2</sup> ) | 121,02                 | 132,93                 | <b>11,91</b>                | <b>9,84%</b>              |
| Potencia por Panel (Wp)                          | 330                    | 298,32                 | <b>31,68</b>                | <b>9,60%</b>              |
| <b>RESULTADOS ENERGÉTICOS</b>                    |                        |                        |                             |                           |
| Producción Media Anual (kWh)                     | 27.366,34              | 27.172,53              | <b>193,81</b>               | <b>0,71%</b>              |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)                    | 17.952,00              | 17.952,00              | <b>0,00</b>                 | <b>0,00%</b>              |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)                  | 9.414,34               | 9.220,53               | <b>193,81</b>               | <b>2,06%</b>              |
| <b>RESULTADOS ECONÓMICOS</b>                     |                        |                        |                             |                           |
| Desembolso Inicial en Paneles                    | 7.930,00 €             | 4.062,88 €             | <b>3.867,12 €</b>           | <b>48,77%</b>             |
| Inversión Inicial                                | 22.694,56 €            | 18.747,19 €            | <b>3.947,37 €</b>           | <b>17,39%</b>             |
| Préstamo total                                   | 18.155,65 €            | 14.997,75 €            | <b>3.157,90 €</b>           | <b>17,39%</b>             |
| Amortización Anual                               | 579,58 €               | 595,53 €               | <b>15,95 €</b>              | <b>2,75%</b>              |
| Gastos Medios Anuales                            | 173,03 €               | 163,98 €               | <b>9,05 €</b>               | <b>5,23%</b>              |
| Pay-Back Descontado                              | 7 Años                 | 5 Años y 6 Meses       | <b>1 Año y 6 Meses</b>      | <b>21%</b>                |
| Cash Flow Acumulado (Año 10)                     | 41.951,37 €            | 42.189,09 €            | <b>237,72 €</b>             | <b>0,57%</b>              |
| <b>VAN (Año 10)</b>                              | <b>6.749,82 €</b>      | <b>10.872,30 €</b>     | <b>4.122,48 €</b>           | <b>61,08%</b>             |
| <b>Rentabilidad - TIR (Año 10)</b>               | <b>13%</b>             | <b>18%</b>             | <b>5%</b>                   | <b>40,13%</b>             |

**Tabla 91.** Ejemplo 20B (Paneles Reutilizados) vs Ejemplo 20A (Paneles Nuevos)

**RESULTADOS FÍSICOS:**➤ Nº PANELES:

Para alcanzar el valor de potencia deseada para la instalación realizada a partir de paneles reutilizados se necesitan 67 paneles; 6 paneles más de los empleados en el ejemplo A.

➤ SUPERFICIE OCUPADA:

El aumento del número de paneles necesarios para el modelo B requiere una superficie de instalación superior al espacio necesario para realizar el ejemplo A. Un 9,84% superior.

➤ POTENCIA POR PANEL:

Las células de los módulos se degradan en un porcentaje anual. Por este motivo, los paneles reutilizados ofrecen valores inferiores de potencia para un mismo modelo de módulo.

La potencia ofrecida por los paneles de segundo uso es un 9,60% inferior a la proporcionada por módulos nuevos.

**RESULTADOS ENERGÉTICOS:**➤ PRODUCCIÓN MEDIA ANUAL:

La producción media anual para 10 años de actividad es inferior para la instalación realizada a partir de paneles reutilizados. Esta diferencia no es muy significativa (<5%), y se debe a la diferencia en la potencia pico instalada entre los dos ejemplos (20,13 kW para el A y 19,98 kW para el B)

➤ AUTOCONSUMO MEDIO ANUAL:

Ambos modelos son capaces de abastecer el total de las necesidades de autoconsumo para los 10 años del estudio.

➤ EXCEDENTES MEDIOS ANUALES:

Los excedentes del ejemplo A son superiores en un 2%. Esta diferencia no es muy significativa (<5%). Se debe a la diferencia en potencia pico instalada entre los dos ejemplos.

**RESULTADOS ECONÓMICOS:**➤ DESEMBOLSO INICIAL EN PANELES:

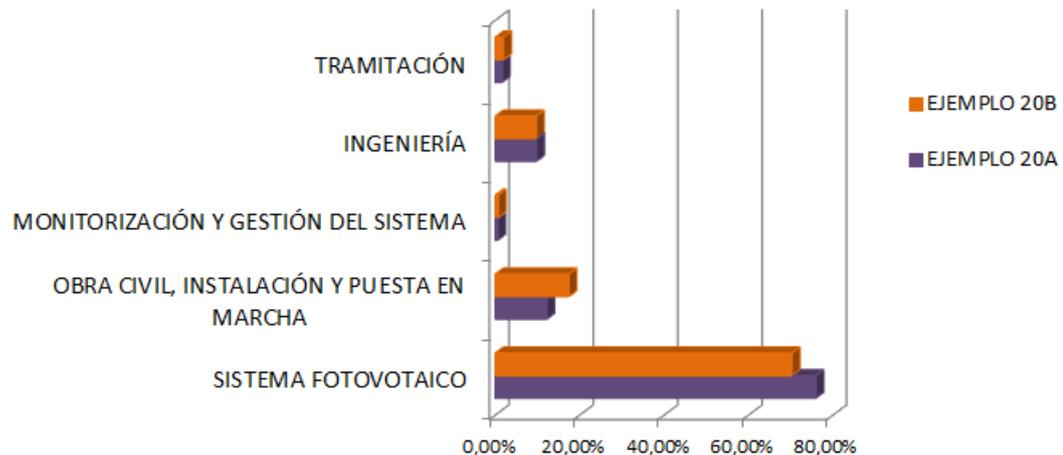
El desembolso inicial en paneles fotovoltaicos para la instalación realizada a partir de paneles reutilizados reduce los costes en 3.867,12 € con respecto al desembolso necesario para la instalación a partir de paneles nuevos.

Es decir, a pesar de ser necesario un mayor número de paneles para realizar el modelo de instalación B, la inversión inicial en paneles se reduce en un 48,77%.

➤ INVERSIÓN INICIAL:

La inversión inicial para el ejemplo B es aproximadamente un 17,39% más barata.

En el siguiente gráfico se muestra una comparación de la distribución porcentual del presupuesto para cada uno de los ejemplos.



*Ilustración 76. Comparación de la Distribución Porcentual del presupuesto para los ejemplos 20A y 20B*

Para el caso B la inversión en el sistema fotovoltaico es inferior debido a la reducción del desembolso en módulos fotovoltaicos.

Por lo contrario, al tratarse de la instalación de 6 módulos más a los utilizados en el modelo A, se produce un coste superior en la estructura de soporte y, por lo tanto, aumenta también el coste del cableado, de las conexiones y de la obra civil e instalación eléctrica.

Esta es la causa de que para el modelo B, la “obra civil, instalación y puesta en marcha” tome un peso mayor que en el modelo A.

➤ PRÉSTAMO TOTAL:

El préstamo solicitado se reduce de forma proporcional a la inversión.

➤ AMORTIZACIÓN ANUAL:

La amortización anual aumenta en un 2,75% para el modelo B. Esta diferencia no es significativa (<5%).

➤ GASTOS MEDIOS ANUALES

La reducción de los gastos para el ejemplo B se debe a la disminución del presupuesto inicial ya que el seguro contratado se calcula como un porcentaje del presupuesto.

➤ PAY-BACK DESCONTADO:

El Pay-Back descontado o plazo para el que se recupera la inversión es de 7 años para el ejemplo A y de 5 años y 6 meses para el ejemplo B. La instalación realizada a partir de paneles reutilizados recupera el desembolso inicial 1 año y 6 meses (un 21%) antes de lo que lo haría la instalación realizada a partir de paneles nuevos. Al recuperar la inversión en un periodo inferior, comienza a generar ganancias antes que la instalación del ejemplo A.

➤ CASH FLOW ACUMULADO:

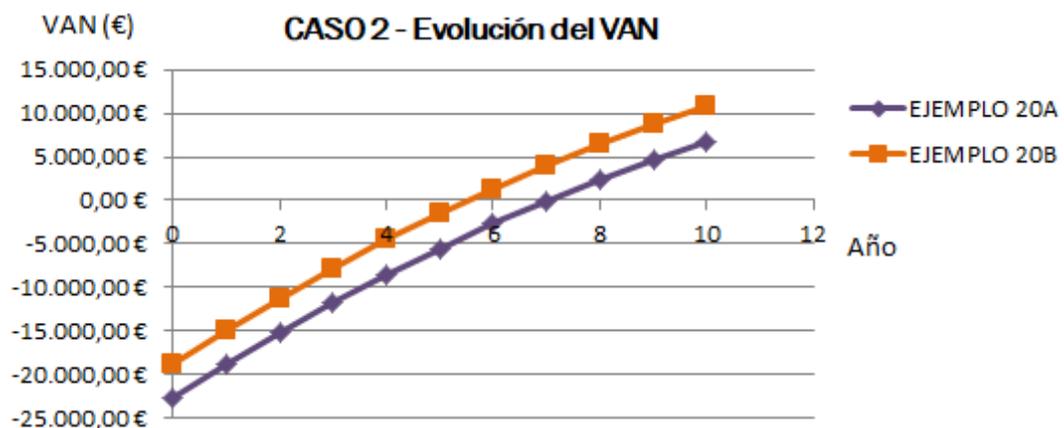
Las ganancias recibidas por la actividad de la instalación toman valores semejantes en ambos ejemplos (diferencia del 0,57%, poco significativa).

Esto quiere decir que el beneficio recibido sin tener en cuenta la inversión inicial es el mismo tanto si se utilizan paneles nuevos como reutilizados.

➤ VAN (AÑO 10):

El VAN para el horizonte temporal fijado (10 años) es 4122,48 € menor para el ejemplo 20A que para el ejemplo 20B debido a que la inversión inicial se recupera antes para el ejemplo realizado a partir de paneles reutilizados y esto permite que comiencen a generarse ganancias antes.

Pese a esta diferencia, el VAN resulta positivo en ambos casos por lo que la inversión en cualquiera de los dos proyectos es económicamente viable.



*Ilustración 77. CASO 2 - Gráfico de la Evolución del VAN para los ejemplos 20A y 20B*

➤ TIR:

La tasa interna de retorno es mayor que la rentabilidad exigida (7%), por lo que ambos ejemplos son rentables. La TIR del ejemplo 20B es del 18% mientras que la del ejemplo 20A es de 13%, lo que indica que la rentabilidad es mayor en un periodo menor de tiempo.

#### 6.4. Análisis de los resultados

Del análisis de las instalaciones fotovoltaicas (realizadas a partir de paneles nuevos y reutilizados) del presente proyecto, se obtienen resultados sobre cuestiones físicas, energéticas y económicas para 10 años de actividad.

En este apartado se extraen las conclusiones sobre la viabilidad de la reutilización de paneles fotovoltaicos derivadas de los casos estudiados.

Más adelante, se indican a modo de resumen las ventajas e inconvenientes de utilizar paneles reutilizados.

Por último, como análisis complementario al estudio realizado, se evalúa la posibilidad de prolongar la actividad de la instalación a 20 años.

##### 6.4.1. Conclusiones derivadas de los Casos Prácticos

En la siguiente tabla se presentan las diferencias porcentuales resultantes de instalar paneles reutilizados frente a paneles nuevos para cada uno de los casos de estudio.

Las últimas columnas muestran la valoración de los resultados obtenidos. Un resultado implica una ventaja cuando el porcentaje presenta un valor positivo significativo para el uso de módulos reutilizados en comparación con la instalación de módulos nuevos. Por lo contrario, si el porcentaje es negativo, el aspecto se valora como una desventaja.

En el caso de que la diferencia porcentual (positiva o negativa) sea inferior al 5%, se considera una diferencia “poco significativa” y se califica como “resultado similar”.

|  | PANELES REUTILIZADOS vs PANELES NUEVOS |                  |         |                 |                      |
|--|--|------------------|---------|-----------------|----------------------|
|  | CASO 1:<br>5 kW                        | CASO 2:<br>20 kW | VENTAJA | DES-<br>VENTAJA | RESULTADO<br>SIMILAR |
| <b>RESULTADOS FÍSICOS</b>                        |  |                  |         |                 |                      |
| Nº Paneles                                       | 13,33%                                 | 9,84%            |         | X               |                      |
| Superficie Ocupada por paneles (m <sup>2</sup> ) | 13,33%                                 | 9,84%            |         | X               |                      |
| Potencia por Panel (Wp)                          | 9,60%                                  | 9,60%            |         | X               |                      |
| <b>RESULTADOS ENERGÉTICOS</b>                    |  |                  |         |                 |                      |
| Producción Media Anual (kWh)                     | 2,44%                                  | 0,71%            |         |                 | X                    |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)                    | 0,00%                                  | 0,00%            |         |                 | X                    |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)                  | 7,34%                                  | 2,06%            |         |                 | X                    |
| <b>RESULTADOS ECONÓMICOS</b>                     |  |                  |         |                 |                      |
| Desembolso Inicial en Paneles                    | 47,13%                                 | 48,77%           | X       |                 |                      |
| Inversión Inicial                                | 15,52%                                 | 17,39%           | X       |                 |                      |
| Préstamo total                                   | 15,52%                                 | 17,39%           | X       |                 |                      |
| Amortización Anual                               | 2,97%                                  | 2,75%            |         |                 | X                    |
| Gastos Medios Anuales                            | 2,64%                                  | 5,23%            |         |                 | X                    |

|                              |         |        |   |  |   |
|------------------------------|---------|--------|---|--|---|
| Pay-Back Descontado          | 22,22%  | 21,43% | X |  |   |
| Cash Flow Acumulado (Año 10) | 2,30%   | 0,57%  |   |  | X |
| VAN (Año 10)                 | 238,24% | 61,08% | X |  |   |
| Rentabilidad - TIR (Año 10)  | 44,44%  | 40,13% | X |  |   |

**Tabla 92.** Conclusiones - Paneles Reutilizados vs Paneles Nuevos

### **CONCLUSIONES FÍSICAS:**

➤ **Nº DE PANELES:**

Para conseguir un mismo valor de potencia de instalación, es necesario un número mayor de paneles reutilizados que de paneles nuevos debido a que los primeros ofrecen menor potencia por panel ya que sus células han sufrido degradación en su primer uso.

La diferencia entre el número de paneles necesario para cada caso se debe al redondeo realizado para alcanzar el valor de potencia deseado.

➤ **ÁREA:**

Debido a que en las instalaciones realizadas a partir de paneles reutilizados se necesita un mayor número de módulos, la superficie ocupada por la instalación es superior.

➤ **POTENCIA POR PANEL:**

Las células de los módulos se degradan en un porcentaje anual. Por este motivo, los paneles reutilizados ofrecen valores inferiores de potencia para un mismo modelo de módulo.

### **CONCLUSIONES ENERGÉTICAS:**

➤ **PRODUCCIÓN MEDIA ANUAL:**

La producción media anual para los paneles reutilizados es superior en el caso 1 e inferior en el caso 2.

Estas diferencias son mínimas y no toman valores significativos (menores del 5%). Se deben a la diferencia de potencia pico instalada (4,95 kWp para el ejemplo A y 5,071 kWp para el ejemplo B).

➤ **AUTOCONSUMO MEDIO ANUAL:**

Los ejemplos de ambos casos son capaces de cubrir el total de las necesidades de autoconsumo para los 10 años de estudio.

➤ EXCEDENTES MEDIOS ANUALES:

La instalación de 5 kW realizada a partir de paneles reutilizados genera excedentes medios anuales superiores en un 7% a los obtenidos utilizando paneles nuevos. Por lo contrario, en la instalación de 20 kW los excedentes del ejemplo B son un 2% inferiores.

El motivo de que se produzcan más excedentes en el ejemplo 5B que en el ejemplo 5A es debido a la diferencia de potencia pico instalada (4,95 kWp para el ejemplo A y 5,071 kWp para el ejemplo B). Esta diferencia repercute en la producción energética y, por lo tanto, en los excedentes generados.

En el caso 2 ocurre la situación contraria, la potencia pico para el modelo B es menor de la potencia pico instalada en el modelo A (Ejemplo A: 20.130 Wp; Ejemplo B: 19.987,44 Wp).

**CONCLUSIONES ECONÓMICAS:**

➤ AHORRO EN EL DESEMBOLSO INICIAL EN PANELES:

Los paneles reutilizados son más económicos que los paneles nuevos. Esto da lugar a que las instalaciones realizadas a partir de paneles de segundo uso reduzcan el coste inicial debido a los módulos en más del 47%.

La diferencia económica en valores absolutos entre paneles nuevos y reutilizados para el modelo utilizado en los casos prácticos es la siguiente:

|                         | Precio Panel<br>(€) | Potencia Máx.<br>(Wp) | Precio<br>(€/Wp) |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|------------------|
| Panel Reutilizado       | 60,64               | 279,67                | 0,217            |
| Panel Nuevo             | 130                 | 330                   | 0,394            |
| <b>DIFERENCIA Total</b> | <b>69,36</b>        | <b>50,33</b>          | <b>0,177</b>     |
| <b>DIFERENCIA (%)</b>   | <b>53,35%</b>       | <b>15,25%</b>         | <b>44,96%</b>    |

**Tabla 93.** Diferencia económica Panel Reutilizado (B) vs. Panel Nuevo (A)

Un panel reutilizado de las mismas características es un 53,35% más barato que un panel nuevo.

La reducción en la potencia ofrecida de un panel B con respecto a uno A es del 15,25%.

Por último, teniendo en cuenta la relación precio-potencia (€/Wp) ofrecida en cada caso, el ahorro real debido al panel reutilizado es del 44,96%.

➤ AHORRO EN LA INVERSIÓN INICIAL TOTAL:

El uso de paneles reutilizados para realizar instalaciones implica un mayor número de paneles al necesario si se emplean paneles nuevos.

Por este motivo, aunque el desembolso inicial en módulos se reduce al utilizar paneles reutilizados, afecta de forma negativa a la inversión necesaria en estructura de soporte, cableado, conexiones y mano de obra para montaje mecánico e instalación eléctrica.

El resto de los valores del presupuesto total que suponen un porcentaje del PEM (en este caso la dirección de obra y la elaboración del proyecto), se ven afectados por su aumento/reducción.

El ahorro en la inversión inicial total es mayor para las instalaciones de paneles reutilizados que para las de paneles nuevos (ahorro superior al 15%). Además, toma una diferencia porcentual superior para el segundo caso estudiado (5 kW y 20 kW). La causa de esta diferencia se debe, al redondeo en el número de paneles necesarios para alcanzar la potencia deseada.

➤ PAY-BACK DESCONTADO O PLAZO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL:

El plazo de recuperación de la inversión inicial se reduce al reducirse la inversión inicial por el uso de paneles reutilizados. Esta diferencia es aproximadamente del 22% y no es significativa al aumentar el tamaño de la instalación.

➤ CASH FLOW ACUMULADO:

Las ganancias acumuladas para el año 10 de actividad son similares en ambos casos. (Diferencias <5%, no significativas).

➤ VAN:

Los dos casos de instalación son viables (tanto las instalaciones de módulos nuevos como las de módulos reutilizados). Esto significa que se recupera la inversión inicial, se obtiene el retorno que se buscaba (al actualizar los flujos de caja a la tasa de descuento) y además se produce un remanente sobre el valor adquirido.

El VAN para el año 10 de los ejemplos B es superior al valor obtenido en los ejemplos A, por lo que se genera mayor beneficio en menos tiempo.

La diferencia entre utilizar paneles reutilizados o nuevos es más significativa en la instalación del caso 1. Esto significa que la instalación de menor tamaño presenta mayor ventaja en cuanto a la generación de beneficios que la instalación de 20 kW.

➤ RENTABILIDAD:

Todos los ejemplos superan la rentabilidad exigida (7%).

La rentabilidad para el año 10 de los ejemplos B es superior a la obtenida mediante los ejemplos A. Esto significa que la relación entre la inversión realizada y los beneficios obtenidos es mayor para las instalaciones construidas a partir de módulos reutilizados.

Por otra parte, la rentabilidad aumenta en la misma medida en ambos casos.

#### 6.4.2. Ventajas e Inconvenientes de las Instalaciones FV realizadas a partir de Paneles Reutilizados

Además de las ventajas medioambientales que supone la reutilización, el estudio de las conclusiones permite extraer las principales ventajas e inconvenientes derivadas del uso de paneles reutilizados en instalaciones fotovoltaicas conectadas a red:

| <b>PANELES REUTILIZADOS vs PANELES NUEVOS</b> |   |
|---|---|
| <b>VENTAJAS</b>                               |   |
| ·   | ↓ Inversión Inicial                                   |
| ·   | ↓ Intereses de Financiación                           |
| ·   | ↓ Gastos de la Instalación                            |
| ·   | ↓ Plazo de Recuperación de la inversión               |
| ·   | ↑ Rentabilidad  |
| ·   | ↑ Beneficio obtenido para 10 años de actividad        |
| <b>INCONVENIENTES</b>                         |   |
| ·   | ↓ Tiempo de vida útil                                 |
| ·   | ↓ Potencia por panel                                  |
| ·   | ↑ Número de paneles para alcanzar la potencia deseada |
| ·   | ↑ Superficie ocupada por paneles                      |

**Tabla 94.** Ventajas e Inconvenientes - Paneles Reutilizados vs Paneles Nuevos

- VENTAJAS

- Los paneles reutilizados son más baratos que los paneles nuevos. Esto hace que se reduzca el desembolso inicial de la instalación.
- Al producirse una inversión inicial menor, se reducen los gastos financieros y económicos de la instalación así como el plazo de recuperación de la inversión.
- Un plazo de recuperación de la inversión menor hace que comiencen a producirse ganancias antes de lo que se conseguirían si se hubieran instalado paneles nuevos.
- La rentabilidad para un periodo de 10 años es superior a la obtenida con paneles nuevos.

- INCONVENIENTES

- Los paneles reutilizados tienen una vida útil de 15-20 años mientras que un panel nuevo puede alcanzar hasta 35-40 años de actividad.
- Dado que los paneles reutilizados han sufrido la degradación de sus células y ofrecen valores de potencia menores que los nuevos.
- Para alcanzar la potencia deseada para la instalación fotovoltaica se necesita un mayor número de paneles reutilizados al necesario si los paneles fueran nuevos.
- Aumentar el número de paneles necesarios implica una superficie ocupada mayor.

#### 6.4.3. Proyección Futura del estudio

El horizonte temporal establecido para los casos prácticos estudiados es de 10 años.

Una vez superado este tiempo, las instalaciones realizadas a partir de paneles nuevos podrán continuar su funcionamiento durante, al menos, 15 años más sin la necesidad de sustituir ningún componente del sistema. Alcanzarían así un total de 25 años de uso.

En las instalaciones realizadas a partir de módulos reutilizados, es posible que su funcionamiento se alargue durante 10 años más (35 años en total) aunque, debido a la degradación de sus células, la capacidad de generación eléctrica se vería reducida.

Para conseguir mantener los niveles de generación eléctrica deseados, resulta necesario reemplazar un 50% de los paneles fotovoltaicos por haber llegado al final de su vida útil.

En esta parte se analiza la viabilidad económica de sustituir, una vez pasados 10 años, la mitad de los paneles de una instalación realizada a partir de módulos reutilizados por paneles de segundo uso recién adquiridos.

Se tomarán como referencia los casos 1 y 2 estudiados anteriormente.

El propósito de este estudio de proyección futura es la obtención de resultados sobre la viabilidad económica y energética al realizar una instalación mediante paneles reutilizados cuya actividad se prolongue en un total de 20 años.

Por último, con el objetivo de extraer conclusiones futuras sobre la reutilización de paneles, se comparan los resultados obtenidos con los de instalaciones realizadas a partir de paneles nuevos.

#### 6.4.3.1. CASO 1: Instalación Fotovoltaica de 5 kW

- EJEMPLO 5A-Futuro: Proyección del ejemplo 5A a 20 años

| <b>[EJEMPLO 5A-Futuro] - Resultados</b> |             |
|---|-------------|
| <b>Resultados Físicos</b>               |             |
| Nº Paneles                              | 15          |
| Superficie ocupada por los paneles (m2) | 29,76       |
| Potencia por Panel (Wp)                 | 330         |
| <b>Resultados energéticos</b>           |             |
| Producción Media Anual (kWh)            | 5159,11     |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)           | 3985,29     |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)         | 1173,82     |
| <b>Resultados económicos</b>            |             |
| Desembolso Inicial en Paneles           | 1.950,00 €  |
| Inversión Inicial Total                 | 6.494,07 €  |
| Préstamo Total                          | 5.195,26 €  |
| Amortización Media Anual                | 165,00 €    |
| Gastos - Media Anual                    | 90,05 €     |
| Pay-Back Descontado                     | 9 Años      |
| Cash Flow Acumulado (Año 20)            | 17.324,13 € |
| VAN (Año 20)                            | 3.251,59 €  |
| Rentabilidad - TIR (Año 20)             | 13%         |

**Tabla 95.** Ejemplo 5A-Futuro – Resultados de la Proyección a 20 años del ejemplo 5A

➤ EJEMPLO 5B-Futuro: Proyección del ejemplo 5B a 20 años

En el año 10, 9 de los 17 paneles son sustituidos por paneles reutilizados de nueva adquisición.

| <b>[EJEMPLO 5B-Futuro] - Resultados</b> |                   |
|---|-------------------|
| <b>Resultados Físicos</b>               |                   |
| Nº Paneles                              | 17                |
| Superficie ocupada por los paneles (m2) | 33,73             |
| Potencia por Panel (Wp)                 | 298.32            |
| <b>Resultados Energéticos</b>           |                   |
| Producción Media Anual (kWh)            | 6136,89           |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)           | 4457,80           |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)         | 1679,09           |
| <b>Resultados Económicos</b>            |                   |
| Desembolso Inicial en Paneles           | 1.030,88 €        |
| Desembolso Sustitución Paneles (Año 10) | 545,76 €          |
| <b>Desembolso Total en Paneles</b>      | <b>1.576,64 €</b> |
| Inversión Inicial                       | 5.486,25 €        |
| Segunda Inversión                       | 968,72 €          |
| <b>Inversión Total</b>                  | <b>6.454,97 €</b> |
| Préstamo 1                              | 4.389,00 €        |
| Préstamo 2                              | 774,98 €          |
| <b>Préstamo Total</b>                   | <b>5.163,98 €</b> |
| Amortización - Media Anual              | 152,65 €          |
| Gastos - Media Anual                    | 89,94 €           |
| Cash Flow Acumulado (Año 20)            | 20344,02 €        |
| VAN (Año 20)                            | 4.350,00 €        |
| TIR (Año 20)                            | 15%               |
| Pay-Back Descontado                     | 7 años            |

*Tabla 96. Ejemplo 5B-Futuro - Proyección a 20 años*

❖ ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS:

La comparación de resultados del estudio para la prolongación de la actividad de ambas instalaciones hasta los 20 años ofrece los siguientes resultados y diferencias en valor absoluto y porcentual:

| <b>PROYECCIÓN FUTURA DEL CASO 1:<br/>INSTALACIÓN FV DE 5 kW</b> |                              |                              |                             |                           |
|---|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|   | <b>EJEMPLO<br/>5A-Futuro</b> | <b>EJEMPLO<br/>5B-Futuro</b> | <b>Diferencia<br/>Total</b> | <b>Diferencia<br/>(%)</b> |
| <b>RESULTADOS FÍSICOS</b>                                       |                              |                              |                             |                           |
| Nº Paneles  | 15                           | 17                           | <b>2</b>                    | <b>13,33%</b>             |
| Superficie Ocupada los paneles (m <sup>2</sup> )                | 29,76                        | 33,73                        | <b>3,97</b>                 | <b>13,33%</b>             |
| Potencia por Panel (Wp)   | 330,00                       | 298,32                       | <b>31,68</b>                | <b>9,60%</b>              |
| <b>RESULTADOS ENERGÉTICOS</b>                                   |                              |                              |                             |                           |
| Producción Media Anual (kWh)                                    | 5.159,11                     | 6136,89                      | <b>977,78</b>               | <b>18,95%</b>             |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)                                   | 3.985,29                     | 4457,80                      | <b>472,52</b>               | <b>11,86%</b>             |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)                                 | 1.173,82                     | 1679,09                      | <b>505,26</b>               | <b>43,04%</b>             |
| <b>RESULTADOS ECONÓMICOS</b>                                    |                              |                              |                             |                           |
| Desembolso Total en Paneles                                     | 1.950,00 €                   | 1.576,64 €                   | <b>373,36 €</b>             | <b>19,15%</b>             |
| Inversión Total   | 6.494,07 €                   | 6.454,97 €                   | <b>39,10 €</b>              | <b>0,60%</b>              |
| Préstamo Total  | 5.195,26 €                   | 5.163,98 €                   | <b>31,28 €</b>              | <b>0,60%</b>              |
| Amortización - Media Anual                                      | 165,00 €                     | 152,65 €                     | <b>12,35 €</b>              | <b>7,48%</b>              |
| Gastos - Media Anual  | 90,05 €                      | 89,94 €                      | <b>0,11 €</b>               | <b>0,12%</b>              |
| Pay-Back Descontado   | 9 años                       | 7 años                       | <b>2 años</b>               | <b>22%</b>                |
| Cash Flow Acumulado (Año 20)                                    | 17.324,13 €                  | 20.344,02 €                  | <b>3.019,89 €</b>           | <b>17,43%</b>             |
| <b>VAN (Año 20)</b>   | <b>3.251,59 €</b>            | <b>4.350,00 €</b>            | <b>1.098,41 €</b>           | <b>33,78%</b>             |
| <b>Rentabilidad - TIR (Año 20)</b>                              | <b>13%</b>                   | <b>15%</b>                   | <b>2%</b>                   | <b>15,38%</b>             |

*Tabla 97. Caso 1-Futuro. Ejemplo 5B-Futuro (Paneles Reutilizados) vs Ejemplo 5A-Futuro (Paneles Nuevos)*

De la misma forma que en análisis de resultados anteriores, se ha marcado en color verde (positivo) los resultados para los que la instalación realizada a partir de paneles reutilizados ofrece ventajas frente a la instalación de paneles nuevos.

Considerando la actividad de una instalación de 5 kW durante un periodo de 20 años, empleando paneles nuevos y reutilizados se obtienen los siguientes resultados:

#### **RESULTADOS FÍSICOS:**

Los resultados sobre aspectos físicos de la realización de la instalación se mantienen para la proyección futura y suponen una desventaja en las instalaciones realizadas a partir de módulos reutilizados, tal y como se explicó en el Apartado 6.2.3.

**RESULTADOS ENERGÉTICOS:**➤ PRODUCCIÓN MEDIA ANUAL:

La producción media anual para 20 años de actividad es superior en un 18,95% para la instalación realizada a partir de paneles reutilizados.

➤ AUTOCONSUMO MEDIO ANUAL:

La instalación realizada a partir de paneles nuevos (ejemplo 5A-Futuro) es capaz de abastecer el total de las necesidades de autoconsumo durante los primeros 13 años. A partir de entonces, resulta necesario tomar energía de la red.

Para el ejemplo B, se alcanza el valor de consumo necesario durante 18 años. Por este motivo, el autoconsumo medio anual es un 11,86% mayor.

➤ EXCEDENTES MEDIOS ANUALES:

Los excedentes del ejemplo B son superiores en un 43,04%. Esta diferencia se debe a que el modelo A no es capaz de producir excedentes a partir del año 13 mientras que el modelo B genera excedentes hasta el año 18 del estudio.

La generación de excedentes implica un ahorro significativo en la factura eléctrica.

**RESULTADOS ECONÓMICOS:**➤ DESEMBOLSO INICIAL EN PANELES:

El desembolso total en paneles fotovoltaicos para la instalación realizada a partir de paneles reutilizados reduce los costes en 373,36 € con respecto al desembolso necesario para la instalación a partir de paneles nuevos.

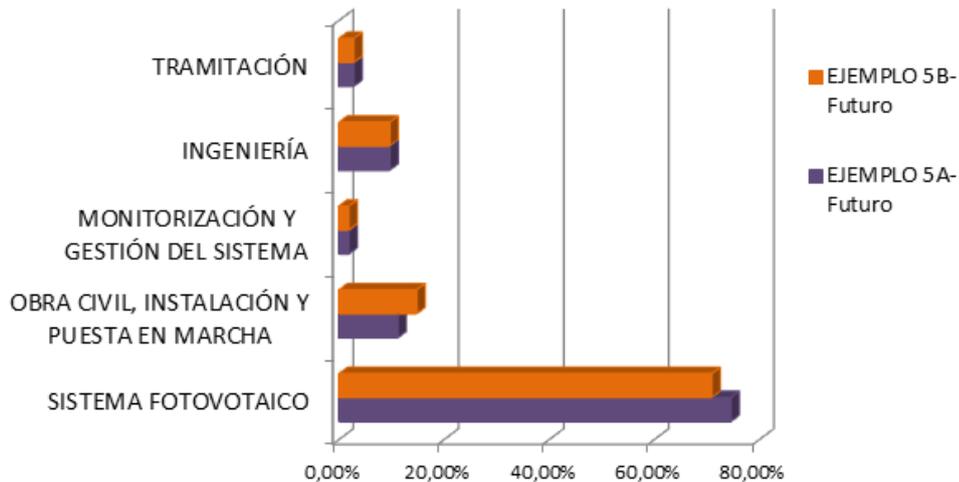
Esto supone que, a pesar de que la instalación B realiza dos inversiones en paneles (desembolso inicial en el año 0 y sustitución de 9 paneles en el año 10), el valor de la inversión inicial del ejemplo 5A-Futuro en paneles es un 19,15% superior.

➤ INVERSIÓN TOTAL:

La inversión necesaria para realizar el modelo B es un 0,60% inferior a la estimada para el modelo realizado a partir de paneles nuevos.

Esta diferencia no es muy significativa (<5%), por lo que se asume una inversión total similar para ambos modelos.

La comparación de los presupuestos 5A-Futuro y 5B-Futuro muestra las diferencias en el peso de cada partida.



**Ilustración 78.** CASO 1-Futuro. Comparación de la Distribución Porcentual del presupuesto para los ejemplos 5A-Futuro y 5B-Futuro

➤ PRÉSTAMO TOTAL:

El préstamo solicitado se reduce para el ejemplo B de forma proporcional a la inversión.

➤ AMORTIZACIÓN ANUAL:

La amortización anual es inferior en un 7,48% para el modelo B.

➤ GASTOS MEDIOS ANUALES

El ejemplo B presenta gastos anuales medios similares a los obtenidos en el ejemplo A.

➤ PAY-BACK DESCONTADO:

El Pay-Back descontado o plazo para el que se recupera la inversión es de 9 años para el ejemplo A y de 7 años para el ejemplo B. La instalación realizada a partir de paneles reutilizados recupera el desembolso inicial 2 años (un 22%) antes de lo que lo haría la instalación realizada a partir de paneles nuevos. Al recuperar la inversión en un periodo inferior, comienza a generar ganancias antes que la instalación del ejemplo A.

➤ CASH FLOW ACUMULADO:

Las ganancias recibidas por la actividad de la instalación toman valores superiores para el ejemplo 5B-Futuro. La diferencia es del 17,43%.

Esto quiere decir que el beneficio recibido sin tener en cuenta la inversión inicial es considerablemente superior si se utilizan paneles reutilizados.

➤ VAN (AÑO 20):

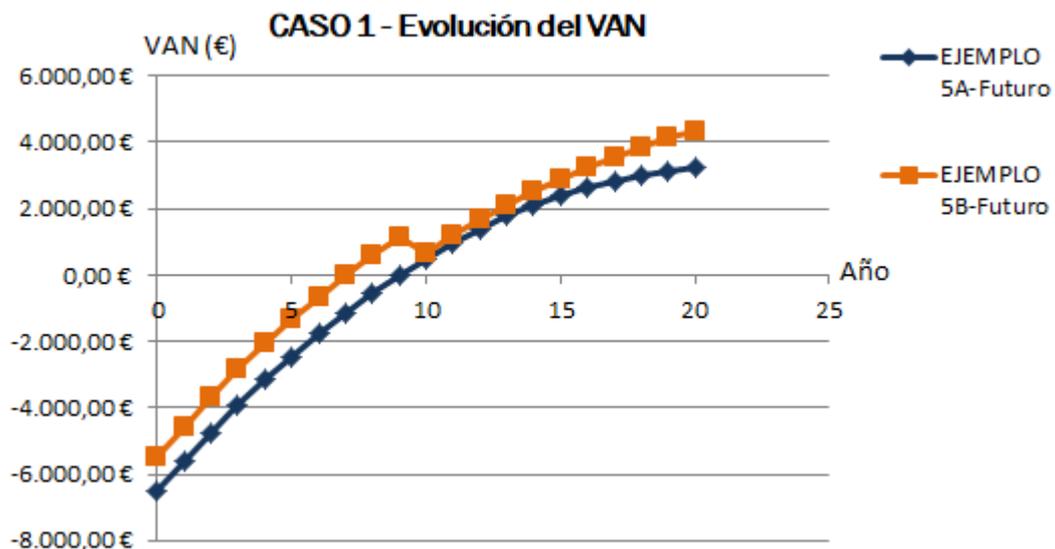
Ambos ejemplos proporcionan VAN positivo por lo que son viables económicamente.

El VAN para el año 20 es un 33,78% mayor para el ejemplo 5B-Futuro que para el ejemplo 5A-Futuro.

Este resultado es de especial importancia ya que implica que, a pesar de que para la realización del modelo B se requieran 2 desembolsos y la diferencia en la inversión total con respecto al ejemplo A sea similar, la instalación a partir de paneles reutilizados genera beneficios mayores.

En la siguiente gráfica se puede observar la comparación de la evolución del VAN para los dos ejemplos. El cambio de curvatura se debe a la repercusión de la segunda inversión (año 10) debida a la segunda inversión en paneles reutilizados del ejemplo 5B-Futuro.

Pese a este descenso en el VAN para el año 10, en la curva del ejemplo 5B-Futuro se aprecia que se recupera la inversión realizada y supera los valores estimados para el ejemplo 5A-Futuro.



**Ilustración 79.** CASO 1-Futuro. Gráfico de la Evolución del VAN para los ejemplos 5A-Futuro y 5B-Futuro

➤ TIR (AÑO 20):

La TIR para el año 20 es del 13% para la instalación A y del 15% para la instalación realizada a partir de paneles reutilizados.

Esto significa que es más rentable el ejemplo B.

## 6.4.3.2. CASO 2: Instalación Fotovoltaica de 20 kW

➤ EJEMPLO 20A-Futuro: Proyección futura del ejemplo 20A a 20 años

| <b>[EJEMPLO 20A-Futuro] - Resultados</b> |             |
|--|-------------|
| <b>Resultados Físicos</b>                |             |
| Nº Paneles                               | 61          |
| Superficie ocupada por los paneles (m2)  | 121,02      |
| Potencia por Panel (Wp)                  | 330         |
| <b>Resultados Energéticos</b>            |             |
| Producción Media Anual (kWh)             | 20.980,37   |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)            | 16.017,11   |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)          | 4.963,26    |
| <b>Resultados Económicos</b>             |             |
| Desembolso Inicial en Paneles            | 7.930,00 €  |
| Inversión Inicial                        | 22.694,56 € |
| Préstamo Total                           | 18.155,65 € |
| Amortización Media Anual                 | 545,60 €    |
| Gastos - Media Anual                     | 181,98 €    |
| Pay-Back Descontado                      | 7 años      |
| Cash Flow Acumulado (Año 20)             | 73.179,39 € |
| VAN (Año 20)                             | 18.425,90 € |
| Rentabilidad - TIR (Año 20)              | 17%         |

**Tabla 98.** Ejemplo 20A-Futuro. Proyección a 20 Años del Ejemplo 20A

➤ EJEMPLO 20B-2: Proyección futura del ejemplo 20B a 20 años

En el año 10, 34 de los 67 paneles son sustituidos por paneles reutilizados de nueva adquisición.

| <b>[EJEMPLO 20B-Futuro] - RESULTADOS</b> |                    |
|--|--------------------|
| <b>Resultados Físicos</b>                |                    |
| Nº Paneles                               | 67                 |
| Superficie ocupada por los paneles (m2)  | 132,93             |
| Potencia por Panel (Wp)                  | 298,32             |
| <b>Resultados Energéticos</b>            |                    |
| Producción Media Anual (kWh)             | 24.049,48          |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)            | 17.775,81          |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)          | 6.273,67           |
| <b>Resultados Económicos</b>             |                    |
| Desembolso Inicial en Paneles            | 4.062,88 €         |
| Desembolso Sustitución Paneles (Año 10)  | 2.061,76 €         |
| <b>Desembolso Total en Paneles</b>       | <b>6.124,64 €</b>  |
| Inversión Inicial                        | 18.747,19 €        |
| Segunda Inversión                        | 3.659,63 €         |
| <b>Inversión Total</b>                   | <b>22.406,82 €</b> |
| Préstamo 1                               | 14.997,75 €        |

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| Préstamo 2                   | 2.927,70 €         |
| <b>Préstamo Total</b>        | <b>17.925,45 €</b> |
| Amortización - Media Anual   | 518,32 €           |
| Gastos - Media Anual         | 181,21 €           |
| Pay-Back Descontado          | 5 Años y 6 Meses   |
| Cash Flow Acumulado (Año 20) | 83.538,56 €        |
| VAN (Año 20)                 | 22.102,00 €        |
| TIR (Año 20)                 | 18%                |

**Tabla 99.** Ejemplo 20B-Futuro. Proyección a 20 años del Ejemplo 20B

❖ **ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS:**

Del estudio de viabilidad para la prolongación de la actividad de la instalación del caso 2 para 20 años, a partir de paneles nuevos y reutilizados, se obtienen los resultados y diferencias en valor absoluto y porcentual detallados en la *Tabla 101*.

El análisis enfrenta los resultados debidos a la instalación de paneles reutilizados (ejemplo 20B-Futuro) frente a paneles nuevos (20A-Futuro). Por este motivo, se indican en color verde los aspectos para los que la instalación B presenta ventaja y en rojo aquellos aspectos para los que se encuentra en desventaja frente al modelo A.

| <b>PROYECCIÓN FUTURA DEL CASO 2:</b>             |                               |                               |                             |                           |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <b>CASO 2: INSTALACIÓN FV DE 20 kW</b>           |                               |                               |                             |                           |
|  | <b>EJEMPLO<br/>20A-Futuro</b> | <b>EJEMPLO<br/>20B-Futuro</b> | <b>Diferencia<br/>Total</b> | <b>Diferencia<br/>(%)</b> |
| <b>RESULTADOS FÍSICOS</b>                        |                               |                               |                             |                           |
| Nº Paneles                                       | 61                            | 67                            | 6                           | 9,84%                     |
| Superficie Ocupada por paneles (m <sup>2</sup> ) | 121,02                        | 132,93                        | 11,91                       | 9,84%                     |
| Potencia por Panel (Wp)                          | 330                           | 298,32                        | 31,68                       | 9,60%                     |
| <b>RESULTADOS ENERGÉTICOS</b>                    |                               |                               |                             |                           |
| Producción Media Anual (kWh)                     | 20.980,37                     | 24.049,48                     | 3.069,11                    | 14,63%                    |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)                    | 16.017,11                     | 17.775,81                     | 1.758,70                    | 10,98%                    |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)                  | 4.963,26                      | 6.273,67                      | 1.310,41                    | 26,40%                    |
| <b>RESULTADOS ECONÓMICOS</b>                     |                               |                               |                             |                           |
| Desembolso Total en Paneles                      | 7.930,00 €                    | 6.124,64 €                    | 1.805,36 €                  | 22,77%                    |
| Inversión Total                                  | 22.694,56 €                   | 22.406,82 €                   | 287,74 €                    | 1,27%                     |
| Préstamo Total                                   | 18.155,65 €                   | 17.925,45 €                   | 230,20 €                    | 1,27%                     |
| Amortización - Media Anual                       | 545,60 €                      | 518,32 €                      | 27,28 €                     | 5,00%                     |
| Gastos - Media Anual                             | 181,98 €                      | 181,21 €                      | 0,77 €                      | 0,42%                     |
| Pay-Back Descontado                              | 7 años                        | 5 Años y 6 Meses              | 1 Año y 6 Meses             | 21%                       |
| Cash Flow Acumulado (Año 20)                     | 73.179,39 €                   | 83.538,56 €                   | 10.359,17 €                 | 14,16%                    |
| <b>VAN (Año 20)</b>                              | <b>18.425,90 €</b>            | <b>22.102,00 €</b>            | <b>3.676,10 €</b>           | <b>19,95%</b>             |
| <b>Rentabilidad - TIR (Año 20)</b>               | <b>17%</b>                    | <b>18%</b>                    | <b>1%</b>                   | <b>5,88%</b>              |

**Tabla 100.** Caso 2-Futuro. Ejemplo 20B-Futuro (Paneles Reutilizados) vs Ejemplo 20A-Futuro (Paneles Nuevos)

**RESULTADOS FÍSICOS:**

Los resultados sobre aspectos físicos de la realización de la instalación se mantienen para la proyección futura y suponen una desventaja en las instalaciones realizadas a partir de módulos reutilizados, tal y como se explicó en el *Apartado 6.3.3*.

**RESULTADOS ENERGÉTICOS:**➤ PRODUCCIÓN MEDIA ANUAL:

La producción media anual para 20 años de actividad es superior en un 14,63% para la instalación realizada a partir de paneles reutilizados.

➤ AUTOCONSUMO MEDIO ANUAL:

La instalación realizada a partir de paneles nuevos (ejemplo 20A-Futuro) no es capaz de abastecer las necesidades de autoconsumo durante los 20 años de actividad como consecuencia de la degradación de las células de los paneles. A partir del año 14 resulta necesario tomar energía de la red.

Por lo contrario, en el modelo de instalación realizado a partir de paneles reutilizados con sustitución de módulos (34 de 67 módulos sustituidos) en el año 10, se alcanza el valor de consumo necesario durante 18 de los 20 años de estudio.

➤ EXCEDENTES MEDIOS ANUALES:

Los excedentes del ejemplo B son superiores en un 26,40%. Esta diferencia es notable e implica un ahorro significativo en la factura eléctrica.

**RESULTADOS ECONÓMICOS:**➤ DESEMBOLSO INICIAL EN PANELES:

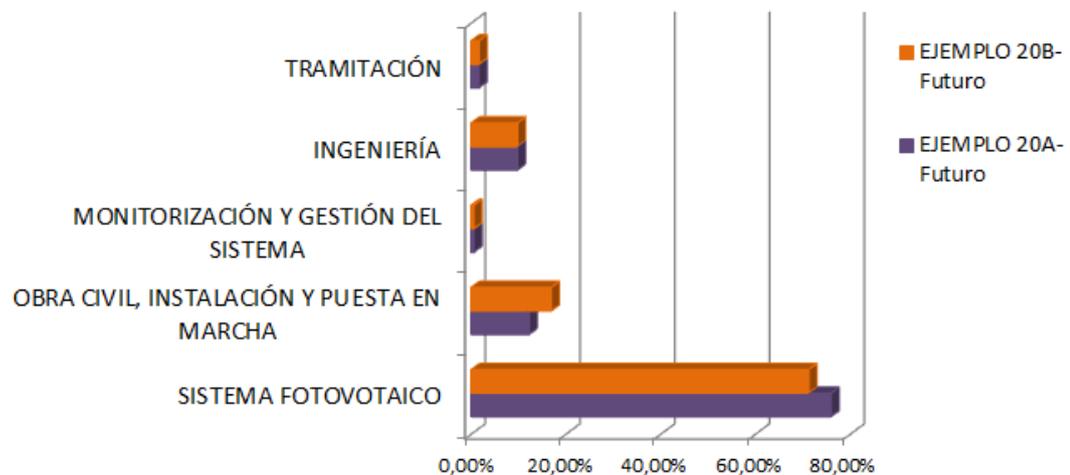
El desembolso total en paneles fotovoltaicos para la instalación realizada a partir de paneles reutilizados es inferior en 1805,36€ con respecto al desembolso necesario para la instalación a partir de paneles nuevos.

Esto supone que, la instalación 20B-Futuro realiza dos inversiones en paneles (desembolso inicial en el año 0 y sustitución de paneles en el año 10), y es un 22,77% más barata que la inversión única del modelo A.

➤ INVERSIÓN TOTAL:

La suma de inversiones para el modelo B es un 1,27% inferior que la necesaria para el ejemplo A. Esta diferencia es poco significativa

Las diferencias en el peso de cada partida de los presupuestos 20A-Futuro y 20B-Futuro se muestran a continuación:



**Ilustración 80.** CASO 2-Futuro. Comparación de la Distribución Porcentual del presupuesto para los ejemplos 20A-Futuro y 20B-Futuro

A pesar del doble desembolso en paneles del modelo B, el ejemplo A toma mayor peso en la inversión en el sistema fotovoltaico.

Por lo contrario, la partida de “obra civil, instalación y puesta en marcha” es mayor para el ejemplo 20B-Futuro. Esta diferencia se debe a los costes de montaje de estructura y de instalación (mayores en el ejemplo B debido a un mayor número de módulos) y que es necesario repetir esta tarea al sustituir los paneles en el año 10.

➤ PRÉSTAMO TOTAL:

El préstamo solicitado se reduce de forma proporcional a la inversión para el ejemplo B.

➤ AMORTIZACIÓN ANUAL:

La amortización anual es un 5% menor para el modelo B.

➤ GASTOS MEDIOS ANUALES

Los gastos medios toman valores similares para los dos ejemplos (diferencia del 0,42%, muy poco significativa).

➤ PAY-BACK DESCONTADO:

El Pay-Back descontado o plazo para el que se recupera la inversión es de 7 años para el ejemplo A y de 5 años y 6 meses para el ejemplo B. La instalación realizada a partir de paneles reutilizados recupera el desembolso inicial 1 año y 6 meses (un 21%) antes de lo que lo haría la instalación realizada a partir de paneles nuevos. Al recuperar la inversión en un periodo inferior, comienza a generar ganancias antes que la instalación del ejemplo A.

➤ CASH FLOW ACUMULADO:

Las ganancias recibidas por la actividad de la instalación toman valores superiores para el ejemplo 20B-Futuro. La diferencia es del 14,16%.

Esto quiere decir que el beneficio recibido sin tener en cuenta la inversión inicial es considerablemente superior si se utilizan paneles reutilizados.

➤ VAN (AÑO 20):

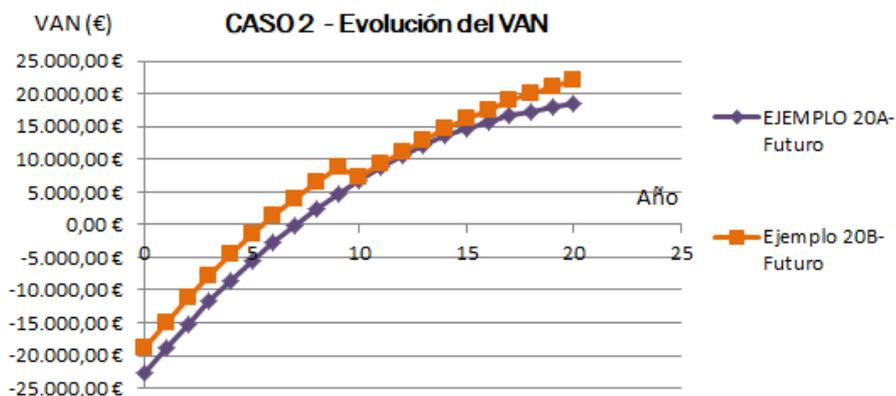
Ambos ejemplos proporcionan VAN positivo por lo que son viables económicamente.

El VAN para el año 20 es aproximadamente un 19,95% mayor para el ejemplo 20B-Futuro que para el ejemplo 20A-Futuro.

Este resultado es de especial importancia ya que implica que, a pesar de que para la realización del modelo B se requieran 2 desembolsos y la diferencia partir de paneles reutilizados genera beneficios mayores.

En la siguiente gráfica se puede observar la comparación de la evolución del VAN para los dos ejemplos. El cambio de curvatura se debe a la repercusión de la segunda inversión (año 10) debida a la sustitución de paneles reutilizados (se sustituyen 34 de 67 paneles) del ejemplo 20B-Futuro.

Pese a este descenso en el VAN para el año 10, en la curva del ejemplo 20B-Futuro se aprecia que se recupera la inversión realizada y toma valores cada año mayores hasta superar a los estimados para el ejemplo 20A-Futuro.



**Ilustración 81.** CASO 2-Futuro. Gráfico de la Evolución del VAN para los ejemplos 20A-Futuro y 20B-Futuro

➤ TIR (AÑO 20):

La TIR para el año 20 es del 17% para el modelo A y del 18% para el B.

Esto significa que es más rentable el ejemplo B.

## 6.4.3.3. Conclusiones de la Proyección Futura

Del mismo modo que en el estudio de conclusiones del Apartado 6.4.1, se analizan los resultados de proyección futura del estudio. En la tabla se muestran las diferencias porcentuales para las instalaciones realizadas a partir de paneles reutilizados (B) frente a las de paneles nuevos (A) para cada uno de los aspectos y se indica si es una ventaja, un inconveniente o toma un resultado similar (variación porcentual menor del 5%).

|  | PANELES REUTILIZADOS vs PANELES NUEVOS |                             |         |                 |                      |
|--|--|-----------------------------|---------|-----------------|----------------------|
|  | CASO 1-<br>Futuro:<br>5 kW             | CASO 2-<br>Futuro:<br>20 kW | VENTAJA | DES-<br>VENTAJA | RESULTADO<br>SIMILAR |
| <b>RESULTADOS FÍSICOS</b>                        |  |                             |         |                 |                      |
| Nº Paneles                                       | 13,33%                                 | 9,84%                       |         | X               |                      |
| Superficie Ocupada por paneles (m <sup>2</sup> ) | 13,33%                                 | 9,84%                       |         | X               |                      |
| Potencia por Panel (Wp)                          | 9,60%                                  | 9,60%                       |         | X               |                      |
| <b>RESULTADOS ENERGÉTICOS</b>                    |  |                             |         |                 |                      |
| Producción Media Anual (kWh)                     | 18,95%                                 | 14,63%                      | X       |                 |                      |
| Autoconsumo Medio Anual (kWh)                    | 11,86%                                 | 10,98%                      | X       |                 |                      |
| Excedentes Medios Anuales (kWh)                  | 43,04%                                 | 26,40%                      | X       |                 |                      |
| <b>RESULTADOS ECONÓMICOS</b>                     |  |                             |         |                 |                      |
| Desembolso Inicial en Paneles                    | 19,15%                                 | 22,77%                      | X       |                 |                      |
| Inversión Total                                  | 0,60%                                  | 1,27%                       |         |                 | X                    |
| Préstamo total                                   | 0,60%                                  | 1,27%                       |         |                 | X                    |
| Amortización Anual                               | 7,48%                                  | 5,00%                       | X       |                 |                      |
| Gastos Medios Anuales                            | 0,12%                                  | 0,42%                       |         |                 | X                    |
| Pay-Back Descontado                              | 22,22%                                 | 21,43%                      | X       |                 |                      |
| Cash Flow Acumulado (Año 20)                     | 17,43%                                 | 14,16%                      | X       |                 |                      |
| VAN (Año 20)                                     | 33,78%                                 | 19,95%                      | X       |                 |                      |
| Rentabilidad - TIR (Año 20)                      | 15,38%                                 | 5,88%                       | X       |                 |                      |

**Tabla 101.** Conclusiones Futuras- Paneles Reutilizados vs Paneles Nuevos

**CONCLUSIONES FÍSICAS:**

Las conclusiones sobre cuestiones físicas toman los mismos valores que los obtenidos en el *Apartado 6.4.1* ya que el número de paneles, la potencia por panel y la superficie ocupada se mantienen para este segundo estudio.

**CONCLUSIONES ENERGÉTICAS:**➤ PRODUCCIÓN MEDIA ANUAL:

La producción media anual es superior en ambos casos para las instalaciones realizadas a partir de paneles reutilizados. Esta diferencia es mayor para la instalación de menor tamaño por la diferencia existente en la potencia instalada (4950 Wp para el modelo A frente a 5071 Wp para el modelo B).

➤ AUTOCONSUMO MEDIO ANUAL:

Ambos casos ofrecen resultados de autoconsumo mejores para las instalaciones de paneles reutilizados. Esto se debe a que las instalaciones de paneles nuevos, debido a la pérdida de eficiencia progresiva, no alcanzan los valores necesarios de producción para el autoconsumo durante los últimos años del periodo.

Las instalaciones realizadas con paneles nuevos no son capaces de abastecer el total del consumo a partir del año 14.

Por lo contrario, los paneles reutilizados son capaces de abastecer el total de autoconsumo durante 20 años en el caso 1 y durante 18 años en el caso 2.

Por este motivo, este aspecto es una ventaja de especial importancia.

Para el estudio durante 20 años de una instalación fotovoltaica de autoconsumo con actividad resulta mejor en términos energéticos la reutilización de paneles.

➤ EXCEDENTES MEDIOS ANUALES:

Los excedentes de los modelos B son superiores en un 43,04% para el caso 1 y en un 26,40% para el caso 2.

Este aspecto es notable y es causante de que se reduzca significativamente la factura.

La causa de la diferencia en la generación de excedentes entre los casos 1 y 2 es, al igual que ocurre en la producción, la variación existente en la potencia pico instalada.

**CONCLUSIONES ECONÓMICAS:****➤ DESEMBOLSO EN PANELES:**

Se debe tener en cuenta que en los ejemplos A sólo se produce un desembolso en el inicio de la inversión mientras que para los modelos B se efectúan dos inversiones en paneles a lo largo de los 20 años (inversión inicial y sustitución en el año 10).

El desembolso total en paneles es mayor en el caso de tomar paneles nuevos. Esta diferencia es más significativa en la instalación de mayor tamaño.

**➤ INVERSIÓN TOTAL:**

La inversión total es inferior en ambos casos para los modelos B.

La diferencia con respecto a los presupuestos de instalaciones de paneles nuevos no es significativa en ninguno de los casos.

Esto se debe a que, aunque se reduzca el coste debido a los paneles, aumentan otros costes (estructura, cableado, mano de obra de montaje e instalación y de ingeniería, por estimarse en función del PEM) y los presupuestos de los modelos A y B resultan similares.

**➤ PLAZO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (Pay-Back Descontado):**

El plazo de recuperación de la inversión es inferior para las instalaciones de paneles reutilizados.

Esta ventaja en tiempo de recuperación del desembolso permite que la instalación comience a generar ganancias antes.

**➤ VAN (AÑO 20):**

El VAN es superior en los ejemplos B y toma un valor menos significativo para la instalación de mayor tamaño.

**➤ TIR (AÑO 20):**

La TIR proporciona valores de rentabilidad superior a la exigida en ambos casos.

La TIR aumenta, en valor absoluto, un 2% al instalar paneles reutilizados frente a la instalación de paneles nuevos.

La conclusión final de este estudio de proyección futura a 20 años de las instalaciones muestra que resulta viable económicamente la sustitución de paneles reutilizados al cabo de 10 años frente a la compra y uso de paneles nuevos. Además de tener los mismos inconvenientes físicos en la misma medida que en el estudio para 10 años, las ventajas en términos energéticos y económicos son mayores.

Es de destacar el alto nivel en la generación de excedentes conseguido por las instalaciones en las que se utilizan paneles reutilizados y se sustituyen (aquellos que lo requieran) 10 años después, frente a las que emplean paneles nuevos y los mantienen durante 20 años.

La inversión total es menor para las instalaciones con reutilización de paneles, y se han comprobado las ventajas económicas en tiempo de recuperación de la inversión y de generación de beneficios.



## 7. CONCLUSIONES

---

Del estudio de instalaciones realizadas a partir de módulos reutilizados y su comparación con instalaciones de características similares realizadas mediante paneles nuevos, se han obtenido las conclusiones finales de este proyecto.

Las conclusiones incluyen tanto cuestiones económicas como energéticas y físicas.

En primer lugar, se afirma que resulta viable económicamente el uso de paneles reutilizados en instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo de hasta 20 kW (límite de potencia de este estudio) para un periodo de 10 años.

La reutilización de paneles fotovoltaicos en pequeñas instalaciones fotovoltaicas tiene las siguientes ventajas económicas:

- Se reduce en, aproximadamente un 16%, la inversión inicial y disminuye el tiempo de recuperación de esta inversión (reducción del 21% aprox.). Esto implica que comiencen a generarse ganancias (ahorro energético debido al autoconsumo y a la producción de excedentes) antes de lo que se producirían en una instalación de paneles nuevos.
- La rentabilidad, entendida como la relación entre la inversión y los beneficios, es superior para las instalaciones de paneles reutilizados que para las instalaciones de paneles nuevos.

En cuanto a los aspectos energéticos:

- Una instalación fotovoltaica de autoconsumo realizada a partir de paneles reutilizados es capaz de abastecer el total de las necesidades energéticas de consumo (estudio para 10 años en instalaciones de hasta 20 kW de potencia).
- La variación en la producción energética y la generación de excedentes de una instalación fotovoltaica de módulos reutilizados en comparación con una de paneles de nueva adquisición no es significativa. Es decir, a partir de paneles reutilizados se consiguen valores de producción energética muy semejantes a los obtenidos mediante módulos nuevos. Lo mismo ocurre con los excedentes.

Respecto a los aspectos físicos, las instalaciones construidas a partir de módulos reutilizados requieren un mayor número de paneles para alcanzar la potencia deseada, al que sería necesario si se tratase de una instalación de paneles nuevos. Esto se debe a que los paneles reutilizados han sufrido la degradación de sus células y proporcionan valores de potencia menores.

Por este motivo, para realizar una instalación de paneles reutilizados se requiere una superficie mayor.

De las estimaciones realizadas se deduce que, bajo condiciones de disponer del espacio necesario para poder instalar la potencia necesaria en paneles reutilizados, resulta más económico, rentable y se obtienen mayores beneficios para 10 años al instalar paneles reutilizados.

Además, el proyecto incluye un estudio de proyección futura para 20 años de actividad de las instalaciones. En este análisis se propone sustituir en el año 10 el 50% de los paneles de las instalaciones de módulos reutilizados (por paneles reutilizados recién adquiridos). Los resultados también resultan favorables para la reutilización.

- En cuanto a los resultados energéticos, las instalaciones de paneles reutilizados son capaces de abastecer el total de las necesidades de autoconsumo durante los 20 años de actividad, mientras que, debido a la degradación de sus células, las instalaciones de paneles nuevos deben comenzar a tomar energía de la red para el autoconsumo a partir del año 14.

Además, la producción media anual aumenta en las instalaciones de paneles reutilizados. La generación de excedentes es especialmente destacable en el estudio futuro ya que los resultados en comparación con las instalaciones de paneles nuevos son mucho mayores, y esto repercute en la reducción de la factura.

- Económicamente, a pesar de que un segundo desembolso implica un aumento de la inversión total con respecto a la necesaria en una instalación de paneles nuevos, las ganancias son significativamente mayores y la rentabilidad supera el valor exigido (7%) y es superior a la obtenida a partir de paneles nuevos.

La conclusión final de este estudio de proyección futura con sustitución de un 50% de los paneles reutilizados es la siguiente: si se dispone del espacio requerido para poder instalar la potencia necesaria en paneles reutilizados, se obtienen mayores ventajas energéticas y económicas (a 20 años de actividad) que instalando paneles nuevos.

La reutilización de paneles es, por tanto, una forma de dar una segunda vida a los paneles desechados y de conseguir ventajas económicas en las instalaciones fotovoltaicas (en comparación con la instalación de paneles nuevos), como la reducción de la inversión y la obtención de beneficios.

La contribución con el medioambiente es también notable. Mediante la reutilización se prolonga la vida útil de los paneles, evitando así la fabricación de paneles nuevos y su respectiva inversión energética. La reducción en la

inversión inicial al instalar paneles reutilizados, potencia la energía fotovoltaica y reduce la huella ambiental debida a la utilización de energías procedentes de fuentes no renovables.

Por otra parte, dado el crecimiento de la energía solar fotovoltaica en los últimos años, es previsible un aumento de paneles utilizados en el mercado. Este incremento del número de paneles hará disminuir su coste y, por lo tanto, se producirá un empuje sobre la reutilización de módulos.

Además, es posible que en los próximos años la iniciativa de reutilización para alargar la vida útil de los dispositivos tecnológicos se vea apoyada económicamente mediante subvenciones.

Por último, es importante indicar que los datos para los cálculos de este proyecto han sido tomados antes de la crisis debida al Covid-19. Las consecuencias económicas derivadas de esta situación pueden afectar al sector fotovoltaico y tener repercusión sobre las estimaciones realizadas.



## BIBLIOGRAFÍA

---

1. **BOE**. Real Decreto 244/2019. [En línea] 5 de Abril de 2019. [Citado el: 16 de Febrero de 2020.] <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244>.
2. **Javier María Méndez Muñiz, Rafael Cuervo García**. *Energía Solar Fotovoltaica*. s.l. : FC Editorial, 2006.
3. *Celdas Solares Orgánicas*. **Andrea Liliana Fagua, William Fernando Bernal**. s.l. : RICYT (Revista Ciencia, Innovación y Tecnología), 2015, Vol. II.
4. **NREL**. Photovoltaic Research. [En línea] [Citado el: 01 de Febrero de 2020.] <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>.
5. **EcoInventos**. Eco Inventos. [En línea] [Citado el: 2020 de Febrero de 8.] <https://ecoinventos.com/celulas-solares-fotovoltaicas/>.
6. **Green [et al.]**. *Progress in PV: Research and Applications 2019, Solar Cell Efficiency Tables (version 54)*. 2019.
7. **CRESESB (Centro de Referencia para Energía Solar y Eólica de Salvo Brito)**. *Tutorial de Energía Solar Fotovoltaica*. 2012.
8. **Viloria, José Roldán**. *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. s.l. : Paraninfo, 2010.
9. **National Renewable Energy Laboratory (NREL)**. "*Photovoltaic Degradation Rates - An Analytical Review*". 2012.
10. **BOE**. <https://www.boe.es/doue/2003/037/L00024-00039.pdf>. [En línea] [Citado el: 20 de Febrero de 2020.]
11. **Fthenakis, Vasilis**. "*How Long Does it take for Photovoltaics To Produce the Energy Used?*". s.l. : Communities Industry National Society of Professional Engineers, 2012.
12. *Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development*. **Nature Communications**. 2016.
13. *PV Quality and Economy*. **ETIP (European Technology & Innovation Platform)**. Septiembre 2018.
14. **EUR-Lex**. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013H0179&from=ES>. [En línea] 9 de Abril de 2013. [Citado el: 2 de Marzo de 2020.]
15. **European Commission**. Product Environmental Footprint Category Rules (PERFCR). [En línea] 12 de Febrero de 2019. [Citado el: 2 de Marzo de 2020.] [https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR\\_PV\\_electricity\\_v1.1.1.pdf](https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_PV_electricity_v1.1.1.pdf).

16. **Unión Española Fotovoltaica (UNEF).** *Informe Anual 2019 UNEF.* 2019.
17. **European Photovoltaic Industry Association.** *"Global Market Outlook".* 2014.
18. **International Energy Agency, IEA.** *Renewables Information 2019.* París : s.n., 2019.
19. **IRENA, International Renewable Energy Agency.** *Annual Report of the Director-General on the Implementation of de Work Programme and Budget for 2018-2019, Noviembre 2019.* 2019.
20. **IRENA.** *El futuro de la Energía Solar Fotovoltaica.* 2019.
21. **Unión Española Fotovoltaica (UNEF).** *Informe Anual UNEF 2017.* 2017.
22. **pvXchange.** *"Índice de Precios".* 2019.
23. **Fraunhofer-ISE.** *Leverized cost of electricity renewable energy technologies.* 2018.
24. **Fraunhofer ISE.** *Photovoltaics Report, August 2018.* 2018.
25. **Solar Media Ltd. PV Tech.** January 2019.
26. *L 183 .* **EUR-Lex. Diario Oficial de la Unión Europea.** 19 de julio de 2018.
27. *Look East for Solar.* **Bloomberg Businessweek.** 07/09/2018.
28. **esenergía.** *Es energía. Tendencias de energía solar 2020.* [En línea] 17 de Diciembre de 2019. [Citado el: 22 de Febrero de 2020.] <https://esenergia.es/tendencias-de-energia-solar/>.
29. **Global Solar Atlas.** <http://globalsolaratlas.info>. [En línea] 2020.
30. **Solar Power Europe.** *"Global Market Outlook".* 2019.
31. **EUR-Lex.** <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=es>. [En línea]
32. —. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>. [En línea]
33. —. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&from=ES>. [En línea]
34. **BOE.** <https://www.boe.es/doue/2019/158/L00125-00199.pdf>. [En línea]
35. **Código Técnico de la Edificación (CTE).** CTE-DB-HE 4 (Apartado 3.1.2 - Zonas Climáticas). *Documento Básico HE Ahorro Energía.*
36. **REE (Red Eléctrica de España).** *Las energías renovables en el sistema eléctrico español, 2018.* 2018.

37. —. Cierre de año de Red Eléctrica. *Grupo Red Eléctrica*. 2019.
38. —. *El Sistema Eléctrico Español. Cierre del año 2019*.
39. **BOE**. Real Decreto 1955/2000. [En línea] 1 de Diciembre de 2000. [Citado el: 26 de Marzo de 2020.] <https://www.boe.es/eli/es/rd/2000/12/01/1955/con>.
40. —. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099>. [En línea] [Citado el: 18 de Febrero de 2020.]
41. —. Real Decreto 1699/2011. [En línea] 18 de Noviembre de 2011. [Citado el: 18 de Febrero de 2020.] <https://www.boe.es/eli/es/rd/2011/11/18/1699>.
42. —. Real Decreto-Ley 9/2013. [En línea] 12 de Julio de 2013. [Citado el: 18 de Febrero de 2020.] <https://www.boe.es/eli/es/rdl/2013/07/12/9>.
43. —. [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-13645](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-13645). [En línea] [Citado el: 18 de Febrero de 2020.]
44. —. [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6123](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6123). [En línea] [Citado el: 18 de Febrero de 2020.]
45. —. Real Decreto-ley 15/2018. [En línea] 5 de Octubre de 2018. [Citado el: 18 de Febrero de 2020.] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-13593>.
46. **Censolar**. [En línea] Legislación Fotovoltaica en España (2019) por Alberto Soria, 2 de Julio de 2019. <https://www.censolar.org/legislacion-fotovoltaica-es-2019/>.
47. **IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY)**. *Review of Failures of Photovoltaic Modules*. 2014.
48. **UNE**. *UNE-EN 61215: Módulos Fotovoltaicos para Uso Terrestre. Cualificación del Diseño y Homologación*. 2017.
49. —. *UNE-EN 61646: Módulos Fotovoltaicos de Lámina delgada para Uso Terrestre. Cualificación del diseño y homologación*. 2017.
50. **BOE**. Real Decreto 314/2006. [En línea] 17 de Marzo de 2006. [Citado el: 26 de Marzo de 2020.] <https://www.boe.es/eli/es/rd/2006/03/17/314/con>.
51. —. Real Decreto 842/2002. [En línea] 2 de Agosto de 2002. [Citado el: 26 de Marzo de 2020.] <https://www.boe.es/eli/es/rd/2002/08/02/842>.
52. —. Ley 24/2013. [En línea] 26 de Diciembre de 2013. [Citado el: 26 de Marzo de 2020.] <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/12/26/24/con>.
53. —. Real Decreto 900/2015. [En línea] 9 de Octubre de 2015. [Citado el: 26 de Marzo de 2020.] <https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/10/09/900/con>.

54. *Guía Profesional de la Tramitación del Autoconsumo*. **Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE)**. Madrid : s.n., Noviembre 2019.
55. **European Commision**. PVGIS. [En línea] [Citado el: 25 de 03 de 2020.] [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html).
56. **Instituto Nacional de Estadística (INE)**. INE - Índice de Precios de Consumo. [En línea] [Citado el: 25 de Marzo de 2020.] <https://www.ine.es/>.
57. **Endesa**. Tarifa One Luz . [En línea] <https://www.endesa.com/es/luz-y-gas/luz/one/tarifa-one-luz>.
58. **BOE**. RD 634/2015. [En línea] 10 de Julio de 2015. [Citado el: 01 de Abril de 2020.] <https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/07/10/634/con>.
59. **ADRASE**. <http://www.adrase.com/>. [En línea] Enero de 2020.
60. *Photovoltaic Degradation Rates - An Analytical Review*. **Kurtz, Dirk C.Jordan and Sarah R.** June 2012.
61. **BOE**. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2000/12/01/1955/con>. [En línea] [Citado el: 18 de Febrero de 2020.]
62. **JinkoSolar**. JKM265P-60 245-265 Vatios. [En línea] [https://www.jinkosolar.com/ftp/SP-MKT-265P-60\(4BB\).pdf](https://www.jinkosolar.com/ftp/SP-MKT-265P-60(4BB).pdf).
63. **omie**. [En línea] [Citado el: 25 de Marzo de 2020.] <https://www.omie.es/es>.
64. **Holaluz**. Compensación Simplificada Holaluz Cloud. 27 Junio 2019.
65. **BOE**. Real Decreto 413/2014. [En línea] 2014. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/06/06/413/con>.
66. **Arno Smets, Klaus Jäger, Olindo Isabella, Rene Van Swaaij, Miro Zeman**. *Solar Energy*. Cambridge, England : s.n., 2016.
67. **IHS Markit**. "*IHS Markit 2019*". 2019.

## ANEXOS

---

### ANEXO I – FICHAS PARA EL ESTUDIO DE LA APTITUD PARA LA REUTILIZACIÓN DE PANELES

- Ficha 1. Inspección Visual. Identificación y Chequeo inicial del panel.
- Ficha 2. Medidas de I/V. Revisión de la curva característica del panel.
- Ficha 3. Resultado de los ensayos. Comprobación de los requisitos mínimos de calidad.

### ANEXO II – FICHAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

- Módulo Fotovoltaico - YINGLI Solar 330Wp
- Inversor Fotovoltaico Caso Práctico 1 –Modelo: SUNNY BOY 5.0. Fabricante: SMA.
- Inversor Fotovoltaico Caso Práctico 2 – Modelo: SYMO 20.0-3-M. Fabricante: FRONIUS.

### ANEXO III - CÁLCULOS

- Ejemplo 5A: Instalación de 5 kW - Paneles Nuevos
- Ejemplo 5B: Instalación de 5 kW – Paneles Reutilizados
- Ejemplo 20A: Instalación de 20 kW – Paneles Nuevos
- Ejemplo 20B: Instalación de 20 kW – Paneles Reutilizados
- Resultados y Análisis
- Ejemplo 5A-Futuro: Proyección Futura del ejemplo 5A.
- Ejemplo 5B-Futuro: Proyección Futura del ejemplo 5B.
- Ejemplo 20A-Futuro: Proyección Futura del ejemplo 20A.
- Ejemplo 20B-Futuro: Proyección Futura del ejemplo 20B.
- Resultados y Análisis de la Proyección Futura