

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

González Cano M., Moretón A., González Rebollo M.A., Martínez O., Jiménez J.

*GdS Optronlab, Universidad de Valladolid, Paseo de Belén 19, Valladolid, 47011, Valladolid, España,
angel.moreton@uva.es

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.2054>

RESUMEN

La generación eléctrica a partir de energía solar es limpia, asequible y renovable. Por estos motivos, su aprovechamiento 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 de generación de energía fotovoltaica son cada vez de mayor tamaño y emplean decenas de miles de módulos en su construcción. Estos módulos sufren, desde el comienzo de su actividad, una degradación continua de sus células que hace disminuir su rendimiento y a menudo son desechados por las grandes empresas aunque no hayan alcanzado el final de su vida útil.

Este proyecto estudia de forma técnica y económica la rentabilidad de la reutilización de los paneles fotovoltaicos de Silicio, 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 tens of thousands of modules in their construction. These modules suffer continuous degradation of their, 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

INTRODUCCIÓN

Se estima que el ciclo de vida útil de un panel fotovoltaico de Silicio es de 25 años (Köntges et al., 2016). Sin embargo, si los paneles son mantenidos adecuadamente y no sufren deterioros importantes debidos a inclemencias meteorológicas, su vida útil con un rendimiento alto puede alargarse hasta los 35-40 años (Pearsall, 2017).

La reducción de precio de los paneles solares, la mejora de su rendimiento debido a la introducción de nuevos diseños en su fabricación, como la tecnología PERC (Passivated Emitter Rear Cell), o las células bifaciales, ha contribuido a un aumento muy significativo de la competitividad de la energía fotovoltaica (Prajapati et al., 2010). El coste medio del LCOE (Levelized Cost Of Energy) para las grandes plantas fotovoltaicas, cada vez más numerosas, se ha estimado entre 0,04-0,07 €/kWh (Henze, 2020). Sin embargo, para conseguir una rentabilidad sostenible de estas plantas se necesita no sólo un adecuado mantenimiento de las instalaciones, sino también un alto rendimiento de los paneles fotovoltaicos. Esto hace que en muchas ocasiones las grandes plantas fotovoltaicas se vean obligadas a reemplazar paneles antes del final de su vida útil.

Por otra parte, el Gobierno Español con el fin de estimular el autoconsumo a nivel particular ha promulgado el nuevo Real Decreto 244/2019 (BOE, 2019), que además incorpora 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 (BOE, 2018), relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. Este nuevo marco legislativo ha propiciado la proliferación de pequeñas instalaciones fotovoltaicas.

En este contexto, se ha realizado un estudio (González Cano, 2020) donde se analiza la viabilidad económica de la reutilización de paneles para pequeñas instalaciones fotovoltaicas. Con ello se pretende, por una parte, reducir el coste de instalación de una pequeña planta fotovoltaica fomentando el autoconsumo y por otra disminuir la huella ecológica prolongando la vida útil de los paneles solares.

Se han analizado desde un punto de vista técnico las causas más comunes que producen la disminución de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos desechados, y cuáles son los requisitos que han de cumplir los paneles para posibilitar su reutilización.

REQUISITOS REUTILIZACION 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% (Jordan and Kurtz, 2013), aunque este valor varía dependiendo del tipo de tecnología empleada y las condiciones climatológicas a las que han sido expuestas las células fotovoltaicas. 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 35-40 años de uso.

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. El reciclaje de paneles ha alcanzado actualmente una tasa del 85%, a pesar de que estén fabricados con muy diferentes materiales (algunos peligrosos) y ensamblados con adhesivos y selladores que dificultan su separación. Esto hace que el proceso de reciclaje de paneles resulte complejo y energéticamente costoso (Weckend et al., 2016).

Sin embargo, la reutilización propone una opción sencilla, sostenible y económica para aprovechar los paneles desechados y prolongar su vida útil, contribuyendo así con el medio ambiente y reduciendo la inversión inicial de las instalaciones fotovoltaicas. Para ello es necesario decidir si un panel es susceptible de ser reutilizado y definir unos requisitos mínimos de calidad.

Se han establecido unos estrictos requisitos mínimos de calidad exigibles a un módulo para su reutilización. Básicamente son los siguientes: que no cause ningún tipo de inseguridad sobre el sistema o los usuarios, una pérdida de potencia que no sea saturada en el tiempo ni presente degradación a saltos ni de tipología variable y un rendimiento no inferior al 90% (eficiencia media estimada para un panel tras 15 años de uso).

PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS USADOS

En la Fig. 1 se representa el esquema del procedimiento de análisis de aptitud de un módulo. Básicamente consta de dos etapas, una inspección visual para evaluar los posibles defectos del panel y si resulta apto una medida de su curva I-V. Además, se han elaborado unos formularios para facilitar la gestión del procedimiento de selección.

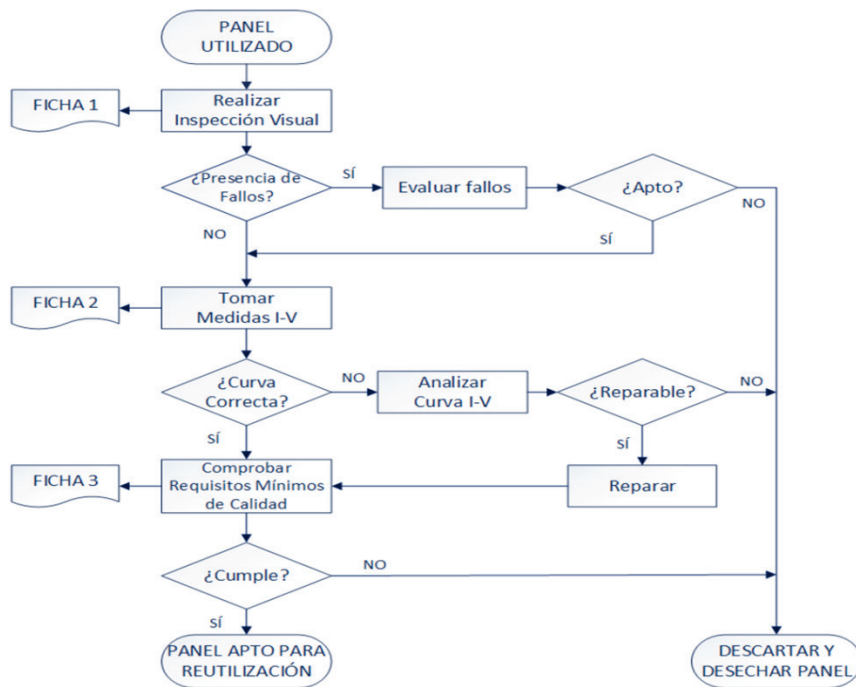


Figura 1. Esquema del procedimiento de selección de un panel fotovoltaico usado

Como se puede ver en la Fig. 1 se han definido dos etapas básicas, una inspección visual y una curva I-V. Además, se han elaborado unas fichas electrónicas que facilitan la gestión de los paneles revisados.

El procedimiento de realización del ensayo de inspección visual sigue la normativa especificada en UNE-EN 61215 (MQT 01). Se ha de realizar por un técnico cualificado en un tiempo estimado en 5-10 minutos.

Para los paneles aptos, mediante la medida de sus curvas IV, se determinan los valores de corriente de cortocircuito, tensión en circuito abierto, tensión y voltaje a potencia máxima y potencia máxima.

El procedimiento de ensayo para la toma de estas medidas, es regulado por la normativa UNE-EN 61215 (MQT 02). Se ha de realizar por un técnico cualificado y el tiempo de realización estimado es de 20 minutos.

Si el panel cumple con los requisitos de calidad definidos, se considerará apto para su reutilización. Si, por el contrario, no los cumple, se evaluará si es reparable o no. Si no lo es, se descarta y desecha. La única reparación que se ha considerado viable económicamente en este estudio es la sustitución de alguno de los diodos de by-pass.

ESTUDIO ECONÓMICO

El estudio realizado en el proyecto se centra en instalaciones fotovoltaicas de máximo de 20 kW de potencia, orientadas al autoconsumo ,conectadas a red, sujetas a compensación por los excedentes de energía vertida a la red y realizadas a partir de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino.

Para el caso de instalaciones de autoconsumo en España, las normas de aplicación son el Real Decreto-Ley 15/2018 (BOE, 2018) y su desarrollo normativo el RD 244/2019 (BOE, 2019). Esta última norma, busca fomentar las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo y apoyar las iniciativas de instalaciones a nivel particular.

Este estudio comprende varios apartados; el primero relativo a los costes estimados de la evaluación técnica, la compra, el transporte y la reparación de los paneles reutilizados. El segundo apartado está relacionado con el coste económico de una instalación fotovoltaica. Finalmente se ha hecho un estudio comparativo con los costes de una

instalación con paneles solares nuevos. Para ello se han analizado los tiempos de cada proceso y el precio de mercado de los paneles tanto usados como nuevos. Además, se ha tenido en cuenta toda la normativa legal.

Se ha considerado una instalación sobre un tejado plano libre de sombras de un edificio de la zona geográfica IV según especificaciones del CTE. No se contemplan los costes debidos a adquisición del terreno, ya que se supone que estos son independientes del estado del panel, nuevo o usado, que se emplee.

Se han evaluado dos casos correspondientes a sendas instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo conectadas a la red de 5 kW (Caso 1) y 20 kW (Caso 2). El estudio económico se ha realizado con un horizonte temporal de rentabilidad a 20 años, siendo los resultados favorables a la reutilización de paneles usados para este periodo.

El estudio económico incluye los cálculos de inversión inicial, financiación, amortizaciones, ahorro de energía debido al autoconsumo, ingresos por la compensación de excedentes de producción, gastos derivados del mantenimiento de la instalación y del seguro e impuestos. A partir de estos cálculos se estiman los flujos de caja anuales y la rentabilidad de la inversión.

Los indicadores económicos tomados son el VAN (Valor Actual Neto), la TIR (Tasa interna de Retorno) y el Pay-Back o plazo de recuperación de la inversión.

EVALUACIÓN DEL COSTE DE INSTALACIÓN

El primer paso ha sido la evaluación del coste de los paneles usados. Para ello se ha tenido en cuenta además del precio final de cada panel, el coste de su selección por un experto, el transporte, la realización de las medidas I-V y la eventual reparación de alguno de ellos. Los costes se han estimado a partir de los precios de mercado que se pueden encontrar en la red y solicitando en algún caso presupuestos de la actividad. A pesar de que los paneles usados suelen estar en buenas condiciones se ha trabajado con un supuesto muy riguroso, suponiendo que solamente pasan las dos revisiones, visual y curvas IV, un 18% de los revisados. En la tabla 1 se presenta un resumen de los resultados.

Tabla 1. Estimación coste de un panel reutilizado

ESTUDIO COSTE REUTILIZACIÓN - 100 PANELES			
ETAPA	Nº PANELES		COSTE (€)
	INICIAL	FINAL	
Inspección Visual	100	25	340
Adquisición	25		200
Transporte	25		120
Toma de Medidas I-V	25	18	350
Reparación	9		67,5
Desechado Paneles NO aptos	7		14
TOTAL PANELES APTOS	18		
Coste Total Proceso (€)			1.091,50
Coste Total / Panel Apto (€)			60,64

Con estos datos en la tabla 2 se presentan los resultados de una comparativa a 20 años de la rentabilidad económica de dos plantas de 5 y 20 kW con paneles nuevos y reutilizados. Con el fin de tener en cuenta la posible mayor degradación de algunos de los paneles reutilizados, se ha incluido como condición en el estudio la sustitución del 50% de los paneles reutilizados de las instalaciones tras 10 años de actividad.

En primer lugar, se han comparado las instalaciones de las plantas asumiendo que la potencia total de generación de los paneles usados debe ser igual a la de los nuevos. Para que esto sea posible es necesario instalar un mayor número de paneles usados, 2 en el caso de una planta de 5 kW y 6 para una de 20 kW. A priori esto puede ser una desventaja porque se requerirá disponer de una superficie mayor para instalar los paneles reutilizados junto con los soportes adicionales correspondientes. Sin embargo, su influencia en los resultados finales es poco significativa.

La producción de energía media, así como los excedentes medios, son superiores en las instalaciones de paneles reutilizados y son capaces de abastecer el total de las necesidades de autoconsumo (definidas para este estudio como

el 90% de la potencia inicial de la instalación) durante el periodo estudiado mientras que las instalaciones de paneles nuevos no alcanzan la producción necesaria para abastecer el consumo necesario durante los últimos años. Esto es debido a la degradación de las células que en el caso de los paneles reutilizados es menor a causa del reemplazamiento del 50% de los paneles reutilizados a los 10 años de la instalación.

Tabla 2. Resultados Proyección Futura del Estudio de Reutilización (20 Años)

Proyección	CASO 1 - 5 kW:			CASO 2 - 20 kW:		
	Nuevos	Reutilizados	Diferencia	Nuevos	Reutilizados	Diferencia
INSTALACIONES						
Potencia por Panel (Wp)	330,00	298,32	- 9,60%	330	298,32	- 9,60%
Nº Paneles	15	17	+ 2 Paneles	61	67	+ 6
Potencia Total	4950	5071,44	+2,45%	20130	19987,44	-0,7%
Superficie Ocupada por paneles (m ²)	29,76	33,73	+ 13,33%	121,02	132,93	+ 9,84%
PRODUCCIÓN ENERGÍA						
Producción Media Anual (kWh)	5.159,11	6.136,89	+ 18,95%	20.980,37	24.049,48	+ 14,63%
Excedentes Medios Anuales (kWh)	1.173,82	1.679,09	+ 43,04%	4.963,26	6.273,67	+ 26,40%
RESULTADOS ECONÓMICOS						
Desembolso Total en Paneles	1.950,00 €	1.576,64 €	- 19,15%	7.930,00 €	6.124,64 €	- 22,77%
Inversión Total	6.494,07 €	6.454,97 €	- 0,60%	22.694,56 €	22.406,82 €	- 1,27%
Pay-Back Descontado	9 años	7 años	- 22%	7 años	5,5 Años	- 21%
Cash Flow Acumulado (Año 20)	17.324,13 €	20.344,02 €	+ 17,43%	73.179,39 €	83.538,56 €	+ 14,16%
VAN (Año 20)	3.251,59 €	4.350,00 €	+ 33,78%	18.425,90 €	22.102,00 €	+ 19,95%
Rentabilidad - TIR (Año 20)	13%	15%	+ 2%	17%	18%	+ 1%

Para

calcular los resultados económicos se han supuesto las condiciones de financiación que aparecen en la tabla 3. Además, se ha tenido en cuenta la sustitución del 50% de los paneles reutilizados al cabo de 10 años, incluyendo el coste de los paneles y la mano de obra necesaria.

Tabla 3. Supuesto financiación instalación de 5 kW paneles nuevos

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

De nuevo, los resultados económicos, objeto de este estudio, son también mejores cuando se emplean paneles reutilizados. Por supuesto en el cálculo se ha incluido el coste de la sustitución al cabo de 10 años del 50% de los paneles reutilizados, manteniendo el mismo tipo de financiación, aunque en muchas ocasiones, debido al coste limitado de esta segunda operación, puede no ser necesaria la financiación de la misma. En cualquier caso, este menor coste de la instalación de paneles reutilizados, es debido a su precio inferior, que disminuye la inversión total inicial, especialmente en el caso de la instalación de 20 kW, reduciendo el tiempo de recuperación de la inversión. Esto implica que comiencen a generarse beneficios (ahorro energético debido al autoconsumo y a la producción de excedentes) antes de lo que se producirían en una instalación de paneles nuevos.

Estos mejores resultados se reflejan en los indicadores económicos estudiados, tanto el plazo de recuperación de la inversión, como el VAN y la TIR que en el año 20 son superiores para los casos de paneles reutilizados.

TRABAJOS EN CURSO

Los paneles bifaciales (Luque, 1979) son actualmente unas de las principales tendencias en la industria fotovoltaica. Debido a su mayor rendimiento (Janssen, 2015) con la misma superficie cada vez hay más instalaciones fotovoltaicas que utilizan paneles de este tipo, especialmente en emplazamientos con alto albedo como techos blancos, grava, etc., todo ello aun cuando tengan un precio superior al de los paneles tradicionales. Por ello hemos creído interesante comenzar un estudio comparativo similar determinando tanto el coste de una instalación con paneles bifaciales nuevos, así como con bifaciales reutilizados. A pesar de que todavía no hay un mercado de segunda mano significativo de este tipo de paneles, para el estudio se estimará su posible coste.

CONCLUSIONES

Del estudio realizado se deduce que, si se dispone del espacio necesario para poder instalar la potencia necesaria en paneles reutilizados, resulta más económico, rentable y se obtienen mayores beneficios al instalar paneles reutilizados, al menos en instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo de hasta 20 kW (límite de potencia de este estudio).

Una instalación fotovoltaica de autoconsumo realizada a partir de paneles reutilizados es capaz de abastecer el total de las necesidades energéticas de consumo de la misma forma que una instalación de paneles nuevos. 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.

La rentabilidad, entendida como la relación entre la inversión y los beneficios, es superior al 7,09% exigido para este tipo de instalaciones (UNEF, 2019) y aumenta en comparación al valor obtenido para las instalaciones de paneles nuevos.

La reutilización de paneles es, por consiguiente, 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 fomenta la energía fotovoltaica reduciendo 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, es previsible que haya medidas para fomentar la reutilización de módulos.

AGRADECIMIENTOS

Proyectos ENE2017-89561-C4-R-3 y DOCTOR-PV. RETOS-2017. REF.: SRTC1700C006712XV0. Ministerio Economía, Industria y Competitividad. Proyecto VA081U16. Junta de Castilla y León.

REFERENCIAS

Boletín Oficial del Estado, BOE. (2018) Medidas Urgentes para la Transición Energética y la Protección de los Consumidores. *Real Decreto-Ley 15/2018*.

Boletín Oficial del Estado, BOE. (2018) Fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. *Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo*.

Boletín Oficial del Estado, BOE. (2019) Regulación de las Condiciones Administrativas, Técnicas y Económicas del Autoconsumo de Energía Eléctrica. *Real Decreto 244/2019*.

González Cano, M. (2020) Estudio Económico de la Reutilización de Paneles Solares en Pequeñas Instalaciones Fotovoltaicas. *Universidad de Valladolid*.

Henze V. (2020) Scale-up of Solar and Wind Puts Existing Coal, Gas at Risk. *Bloomberg NEF*. In press.

Janssen, Gaby J.M., Van Aken Bas B., Carr Anna J., Mewe Agnes A., (2015) Outdoor Performance of Bifacial Modules by Measurements and Modelling. *Energy Procedia, Volume 77, , pp 364-373.*

Jordan D. C., and Kurtz S. R. (2013) Photovoltaic degradation rates—an analytical review. *Progress in photovoltaics: Research and Applications*, 21(1), 12-29.

Köntges M., Kurtz S., Packard C.E., Jahn U., Berger K.A., Kato K., Friesen T., Liu H., Van Iseghem M. and Wohlgemuth J. (2014) Review of Failures of Photovoltaic Modules. *International Energy Agency, IEA.*

Luque A. (1979) Double-Sided Solar Cell With Self-Refrgerating Concentrator. *US4169738A*

Pearsall N. (2016) *The Performance of Photovoltaic (PV) Systems. Modelling, Measurement and Assessment.* pp 71-74. Woodhead Publishing.

Prajapati V., John J., Yang X., Mischke W. and Hong J. (2010) Silane free high-efficiency industrial silicon solar cells using dielectric passivation and local BSF. *25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition - European Photovoltaic Solar Energy Conference EUPVSEC 2010.*

Unión Española Fotovoltaica, UNEF. (2019) Informe Anual 2019: El sector fotovoltaico impulsor de la transición energética. *Unión Española Fotovoltaica, UNEF.*

Weckend S., Wade A., and Heath G.A. (2016) End of Life Management: Solar Photovoltaic Panels. *National Renewable Energy Lab.(NREL).*