

05-008

### **DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED CLEANING SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC PANELS.**

Botejara-Antúnez, Manuel; Garrido-Píriz, Pablo; González Domínguez, Jaime; Sánchez-Barroso, Gonzalo; López Rodríguez, Fernando

Universidad de Extremadura

As energy efficiency becomes trendier, renewable resources are increasingly being exploited, design optimization and green economy patterns are at the forefront of engineering challenges, a project of a brand-new Integrated Cleaning System for Photovoltaic Solar Panels (ICS-PVSP) is characterized. The need of the project arises from the boom of photovoltaic panels in current energetic prospects, as well as the significant yield loss due to unfavourable environmental conditions such as dust coating. The results that have been come up to on ICS-PVSP are portrayed in a product project. The items that are conceived in the project are the study of the individual elements that constitute the whole system, its sketches and design evolution, material choice, cost profitability, charge-off and physical and economic assessment of the final product. In parallel, a study and evaluation of the carbon footprint and cradle-to-cradle implementation are carried out, framed in a circular economy outlook. In conclusion, the system development results in an increase of the photovoltaic panels performance when integrated in an ICS-PVSP, as well as adopting a reduced carbon footprint solution. This proposal brings a reduction of the environmental impact and an efficiency increment which implies economic profitability.

Keywords: Product engineering; development engineering; photovoltaic energy; integrated cleaning system.

### **DESARROLLO DE UN SISTEMA INTEGRAL DE LIMPIEZA PARA PLACAS FOTOVOLTAICAS.**

En un contexto donde la eficiencia energética, el auge de las energías renovables, la optimización y aplicación de la economía verde en el diseño del producto, se presenta un proyecto donde se caracteriza un Sistema Integrado de Limpieza de Paneles Solares Fotovoltaicos (SIL-PSF). El proyecto surge de la generalización del empleo de estos equipos en el nuevo panorama energético, así como una pérdida sustancial de rendimiento ante condiciones ambientales como la deposición de suciedad. Los resultados obtenidos sobre el SIL-PSF quedan reflejados en un proyecto de producto, donde se definen los elementos que componen el sistema global, los bocetajes y evolución de diseños, caracterización de materiales, estudio de rentabilidad, tiempo de amortización y evaluación de propiedades físicas y monetarias del producto final en su conjunto. De manera paralela, se realizan un estudio y evaluación intensivos de la huella de carbono asociada, así como la aplicación de la filosofía cradle-to-cradle en el marco de una economía circular. A nivel funcional, se distingue entre un sistema de limpieza activa y otro de limpieza preventiva, se caracteriza la estructura portante y se realiza un estudio de las actividades del proceso de fabricación y el consumo de energía asociado a los componentes del SIL-PSF.

Palabras claves: Ingeniería de producto; ingeniería de desarrollo; energía fotovoltaica; sistema integrado de limpieza

Correspondencia: Jaime González Domínguez    [jaimegd@unex.es](mailto:jaimegd@unex.es)

Agradecimientos: Este estudio se ha llevado a cabo a través del proyecto de investigación 0475\_LOCALCIR\_4\_E, ligado al programa Interreg VA España-Porgual (POCTEP).



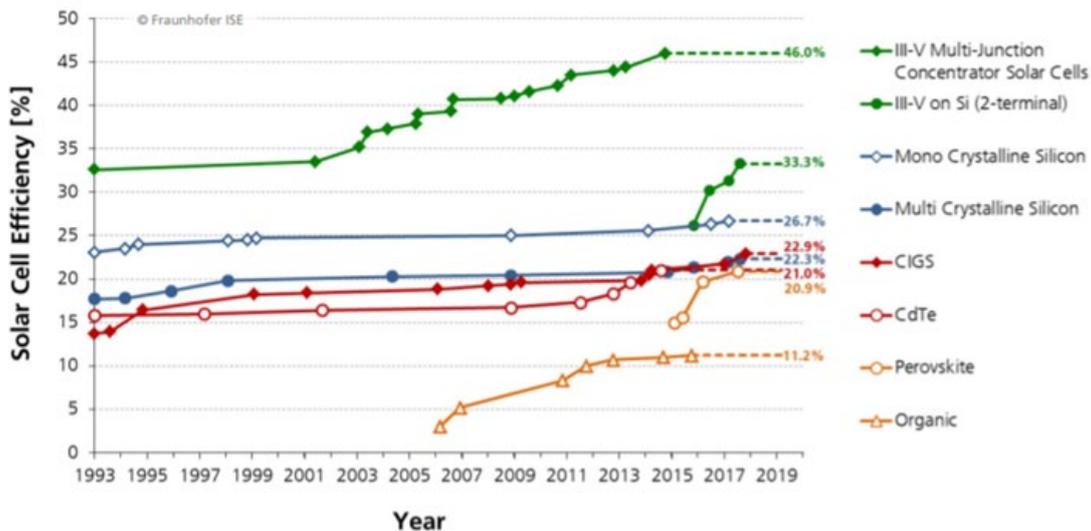
©2021 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

Del panorama energético actual de España se puede identificar una clara tendencia hacia el abastecimiento energético donde energías renovables juegan un rol principal. Entre las fuentes de energía más extendidas, y debido a las condiciones climatológicas del país se encuentra la energía solar fotovoltaica. El porcentaje de energía eléctrica cubierto por equipos que se abastecen de energía solar fotovoltaica en el marco nacional fue de 15289 GWh, 6.1% del total de producción nacional en el año 2020. La potencia instalada en este año es de 10.01 GW, lo cual implica un incremento de potencia instalada del 113% con respecto al año 2018 (REE, 2020). La energía solar implementada a gran escala puede suponer ahorros energéticos considerables y una reducción significativa en la huella de carbono de sectores estratégicos, como por ejemplo infraestructuras hospitalarias (Sánchez-Barroso, 2019).

Sin embargo, desde el punto de vista energético, los equipos fotovoltaicos tienen una eficiencia mediocre, debido especialmente a adversidades climatológicas y a condiciones de diseño. No obstante, dichos equipos han experimentado una mejora de eficiencia en los últimos años. Los paneles más eficientes logran valores de hasta el 46% (Fraunhofer, 2019).

Figura 1: Evolución de la eficiencia de celdas solares en función del tipo (Fraunhofer, 2019)



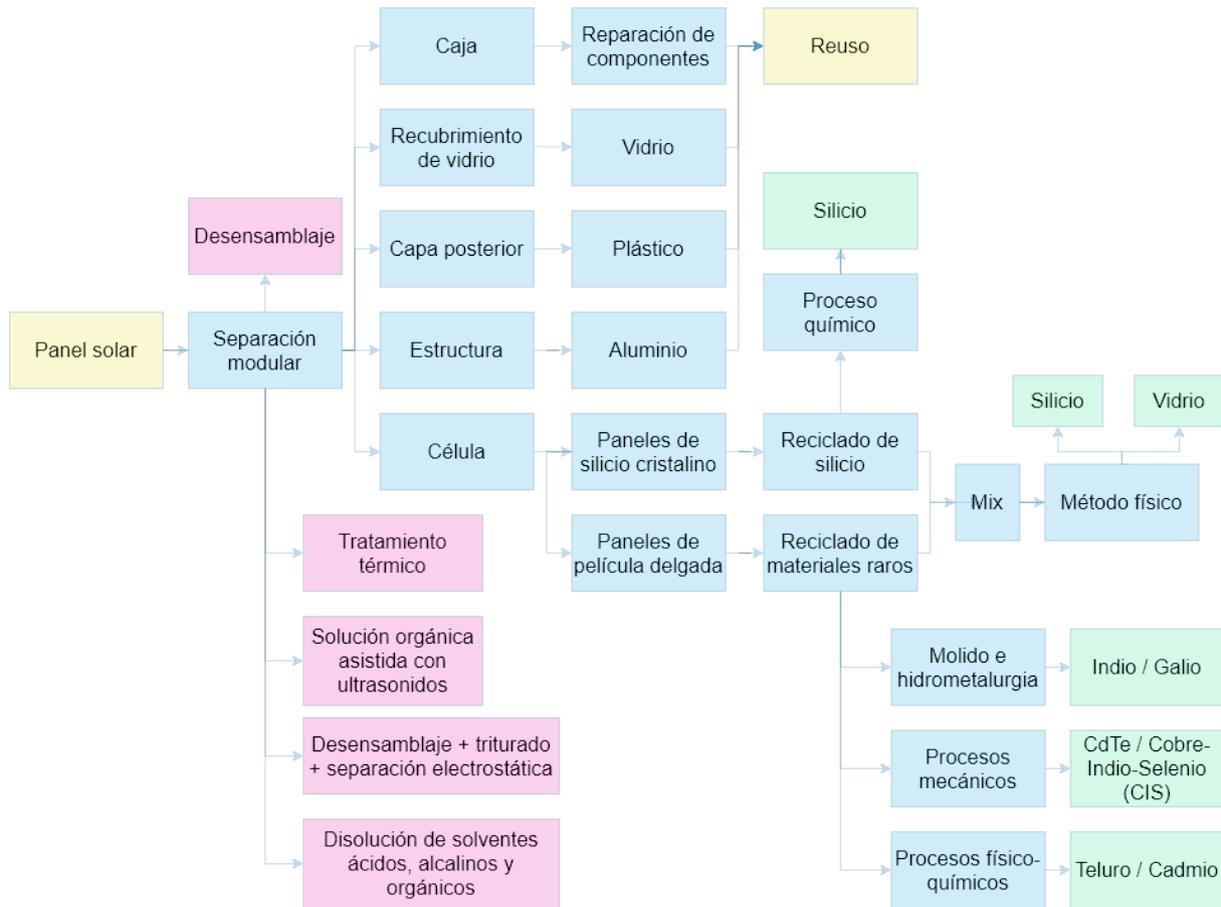
Los paneles fotovoltaicos han podido ver reducidos sus costes de acuerdo a la evolución tecnológica de los diseños y los procesos de fabricación asociados. Así, el aprovechamiento de energía solar fotovoltaica por medio celdas cristalinas y de película fina es una fuente de energía con buenas perspectivas en el medio plazo tanto desde el punto de vista económico como desde el medioambiental, previéndose una reducción de la huella de carbono en un medio plazo (Vasconcelos Sampaio et al., 2020)

La acción debida a gradientes de temperatura y corrientes de aire tienen un efecto directo sobre la deposición de polvo y otras partículas de pequeño tamaño transportadas por vía aérea en paneles solares fotovoltaicos (Oh, 2020). La eficiencia de un módulo de células fotovoltaicas puede disminuir entre un 10% y un 25% debido a este fenómeno, a razón de hasta un 1% anual dependiendo del tipo de panel (de Wild-Scholten, 2013). Además, esta situación puede afectar al entramado eléctrico adosado al panel, como por ejemplo el inversor, cableado y la masa del panel y eventualmente dañar a toda la instalación en el medio-largo plazo (Jordan y Kurtz, 2013). La selección del método de eliminación de polvo depende de

muchos parámetros que resultan del compromiso de aspectos técnicos y económicos, y que dependen en gran medida de las condiciones del entorno (Kazem, 2020).

Los materiales de los que se compone un panel solar fotovoltaico incluyen materiales semiconductores que convierten la radiación solar en energía eléctrica por medio de una serie de células fotovoltaicas. Estas células fotovoltaicas contienen, además de materiales semiconductores, metales raros cuyo reciclaje puede no ser completamente aprovechable y con costes energéticos elevados (Xu et al., 2018).

**Figura 2: Diagrama de reciclaje de un panel solar (Xu et al., 2018)**



Considerando la huella de carbono asociada a la producción de paneles solares fotovoltaicos y las emisiones anuales. En algunos casos, las condiciones medioambientales pueden contribuir a la reducción de su rendimiento -como por ejemplo, tormentas de arena-, por lo que implementar un sistema de cubrición que proteja el panel solar puede ser una opción más que interesante para determinados paneles (Chaicham y Kazem, 2017). Sin embargo, es importante controlar el mecanismo de cubrimiento, ya que un sombreado incorrecto especialmente en condiciones de operación puede conllevar reducciones significativas de rendimiento (Ndiaye et al., 2013).

Por ello, plantear un aumento de tiempo de vida y la conservación de las cualidades del panel solar fotovoltaico es una idea más que razonable para justificar la reducción del impacto

medioambiental de los paneles producidos a gran escala y para producir energía eléctrica proveniente de fuentes sostenibles y renovables.

## 2. Objetivos

El objetivo de este estudio es plantear el diseño de un sistema que permita que los paneles fotovoltaicos pueda retirar la suciedad que pueda acumularse de forma simple y eficaz, interesante desde el punto de vista económico y amortizable en un período de tiempo razonable. Como el objetivo es minimizar el impacto ambiental, se pretende obtener un diseño que no conste de productos que puedan resultar tóxicos, nocivos o dañinos para el medio ambiente.

De cara a la fase final del ciclo de vida del producto, se plantea un diseño que pueda integrarse en cadenas de reutilización o de fabricación o reciclaje en su defecto, de manera que este se pueda introducir en una cadena de economía circular. Los materiales y diseños empleados deben cumplir con tales especificaciones para reducir el impacto ambiental que pueda suponer la fabricación de los modelos a gran escala.

El producto se acota a paneles solares fotovoltaicos, y el problema que se plantea resolver es la deposición de polvo, suciedad u otras películas que puedan reducir tanto la operatividad de la placa como la vida útil del producto. El objetivo es desarrollar, caracterizar y prototipar el diseño de un Sistema Integral de Limpieza para Paneles Solares Fotovoltaicos (SIL-PSF) que permita por sí mismo mitigar los problemas derivados de suciedad y polvo, especialmente en lo que respecta a pérdida de rendimiento y al período de vida útil del panel fotovoltaico. Además, el sistema debe proteger la placa ante condiciones atmosféricas adversas, automatizable y fácil de instalar y usar. El diseño también pretende ser lo más discreto posible, cuidando la armonía con la arquitectura colindante.

Además, se persigue un diseño cuyo resultado implica un ahorro tanto económico como energético superior a la diferencia de coste con respecto a un panel individual. También se persigue la minimización de exigencias de mantenimiento, de manera que pueda funcionar de manera autónoma sin la necesidad de revisiones frecuentes.

## 3. Metodología

La metodología que se propone en el desarrollo de este sistema consta de una parte asociada al ámbito de I+D+i y otra relacionada con el desarrollo de un proyecto de producto. En lo que respecta al desarrollo del producto, se han realizado las siguientes actividades:

- **Diseño.** Para la realización de los diseños, se han consultado patentes existentes acerca de modelos que potencialmente pueden cumplir con las necesidades establecidas. Este punto de partida está relacionado con el statu quo y estudio del estado del arte del proyecto de I+D+i. En base a ello, se han modelado mediante ensayo y error diferentes iteraciones del modelo. Asimismo, se han evaluado las propiedades de los materiales para que estos puedan ajustarse a los requerimientos de cada uno de los elementos que componen el SIL-PSF. Asociados al diseño se definen los procesos de fabricación, el análisis de la huella de carbono asociada a cada componente y los presupuestos.
- **Identificación de elementos y elección de materiales.** Se ha perseguido un diseño funcional y con materiales adecuados al uso y con el menor impacto ambiental posible. En este sentido, se plantea por un lado un contraste entre los parámetros de densidad y de precio y por otro un estudio de la cantidad de energía asociada a los diferentes procesos que le puede ser de aplicación a la materia prima para lograr el componente. La elección de

materiales y procesos de fabricación se realiza mediante software y bases de datos especializadas.

- Estudios de impacto ambiental. Se han realizado estudios computando cuáles son los impactos directos del diseño del SIL-PSF. Los dos parámetros principales para evaluar el impacto ambiental derivado son la huella de carbono y la energía consumida en los procesos. Se plantea el cálculo de la huella de carbono y consumo de energía especialmente para elementos ajenos a la placa fotovoltaica, para realizar una comparativa del impacto medioambiental de paneles solares fotovoltaicos individuales y paneles integrados en un SIL-PSF. El software empleado para la obtención de la huella de carbono y datos de entrada para un análisis del ciclo de vida del producto es AutoDesk Inventor. Dicho software presenta un complemento que permite estimar la huella de carbono y consumo energético en función de la caracterización del material y de la descripción geométrica. Con ayuda de este software se pueden obtener estos parámetros asociado a cada uno de los componentes que integran el SIL-PSF.

## **4. Resultados**

Los resultados obtenidos incluyen tanto la caracterización del propio SIL-PSF como los resultados de estudios complementarios relacionados con la viabilidad logística y el impacto ambiental de los componentes. Los resultados obtenidos están orientados a cumplir las exigencias funcionales, técnicas y de ecodiseño.

### **4.1 Diseño**

Los diseños consultados para la limpieza de paneles solares fotovoltaicos incluyen sistemas con rodillos, rociadores, robot de limpieza y aire, camiones con brazo, cepillo extensible, bandas giratorias. Para el diseño de SIL-PSF se han utilizado algunas de estas ideas para configurar el diseño para adecuarlo a las necesidades, si bien este es original.

El SIL-PSF es un sistema semiautomático que incluye un mecanismo de limpieza activo compuesto por un sistema de rociado de agua mediante una tubería conectada a la toma de agua más cercana y un rodillo que recorre el panel solar, esparce el agua y retira la suciedad acumulada. Además, el SIL-PSF consta de un sistema de limpieza preventivo que está formado por un entramado de lamas de persiana guiadas que se arrollan acopladas a un eje para proteger el panel solar de situaciones climáticas adversas cuando estos no estén produciendo electricidad. El sistema está soportado por una estructura de aluminio compuesta por perfiles diagonales, tubulares, correas horizontales, perfiles angulares y anclajes que permiten fijar la estructura a la cubierta.

**Figura 3: Esquema del sistema SIL-PSF (esquema de guiado y engranajes, estructura portante, rodillo con tubería de agua de abastecimiento y persiana de cubrición). Fuente: Propia**



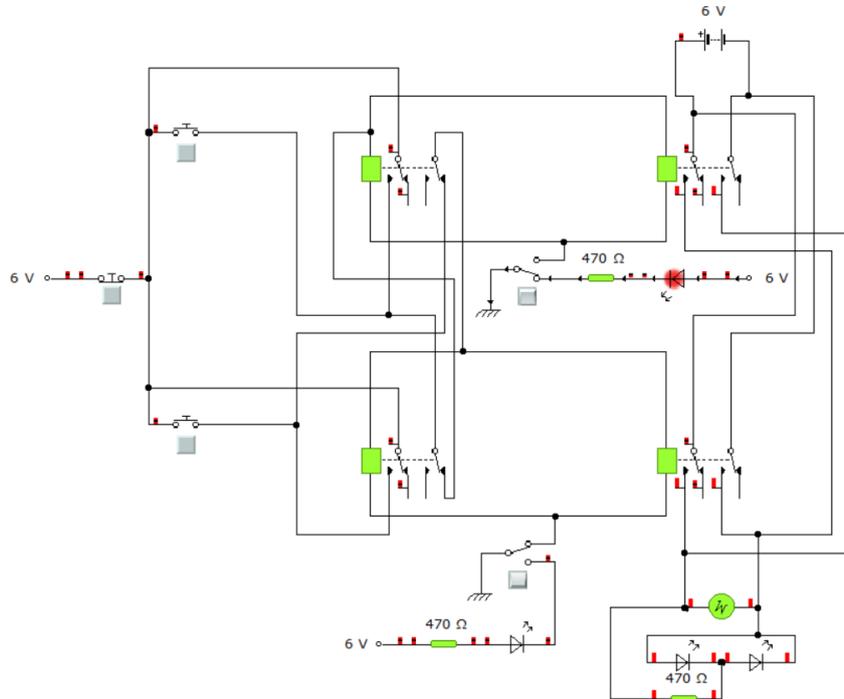
El acople de los elementos de cubrición se realiza mediante un circuito simple de relés, pulsadores, diodos y finales de carrera, alimentados con un voltaje de 6 V, tal y como se muestra en la Figura 4, que describe el sistema electrónico utilizando el software de Crocodile. El sistema realiza un barrido del cepillo en funcionamiento del panel solar mientras el rodillo está activado. Además, el sistema es semiautomático, ya que permite la opción de que el usuario interrumpa el funcionamiento mediante pulsadores manuales.

El sistema consta de:

- Dos pulsadores de marcha, colocados para determinar la marcha del motor en un sentido u otro (1 y 2)
- Un pulsador de parada (3) normalmente cerrado e independienet del sentido de marcha. Este se denota con un color diferente para diferenciarlo de los pulsadores de marcha.
- Relés de maniobra. Permiten el paso de la corriente en el sentido deseado para accionar el circuito de accionamiento. El relé de subida se corresponde con el (4) y el relé de bajada con el (5).
- Finales de carrera. Delimitan las posiciones límites del sistema, es decir, las posiciones inferior (6) y superior (7) tope determinadas por la disposición geométrica del SIL-PSF.
- Inversores de giro. Los relés localizados en el área de potencia (8 y 9) permiten la inversión de la polarización del motor, permitiendo el desplazamiento en un sentido u otro.
- Motor del sistema, correspondiente con el elemento (10)
- Elementos de señalización. La señalización escogida se corresponde con diodos LED y sus resistencias se han elegido adecuadas a su funcionamiento en función de los valores de alimentación. En el esquema se definen los diodos correspondientes a la posición

superior e inferior (11 y 12) respectivamente, mientras que los dos diodos restantes (13 y 14) indican el sentido de giro del motor.

**Figura 4: Esquema electrónico del SIL-PSF. Fuente: Propia**



#### 4.2 Identificación de elementos del SIL-PSF

Para cada uno de los elementos tipificados en el diseño se ha determinado que al menos debe ser reciclable. Las propiedades mecánicas son adecuadas a su uso y se ha considerado como parámetro importante el peso, ya que el SIL-PSF es susceptible de ser implementado en cubiertas.

La estructura portante propuesta está compuesta por perfiles de aluminio PRFV para las diagonales, dos montantes tubulares para soportar y dar inclinación a los perfiles diagonales, dos correas horizontales para soportar el peso de la caja y dos perfiles angulares para dotar de una mayor rigidez a la estructura frente a cargas de viento. Esta estructura está conectada a tierra por medio de fijaciones (anclajes, tornillos y tuercas).

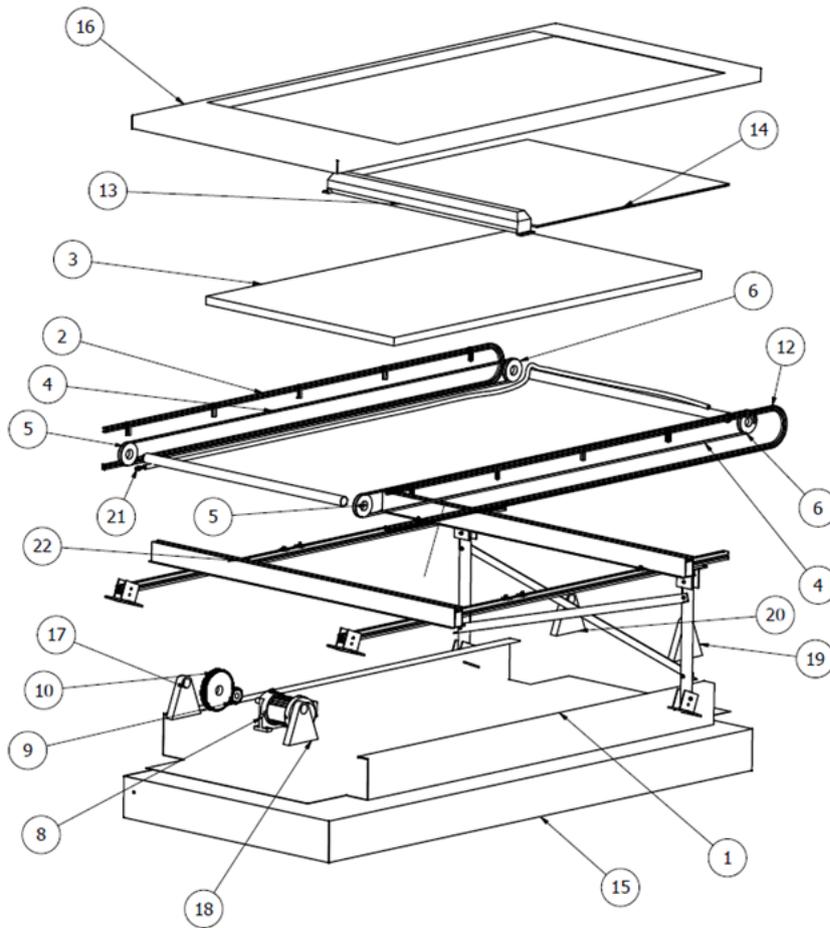
El sistema de transmisión de potencia consta de un piñón y engranaje de acero microaleado de alta resistencia (AISI 4140), un sistema de poleas de fundición y correas de caucho que siguen la trayectoria de guías de polietileno de alto peso molecular (HMPE), adecuados para las condiciones de operación e integrables en un sistema de economía circular. El rodillo está compuesto por cerdas de espuma y está recubierto de un armazón de aluminio, que le dota de propiedades mecánicas adecuadas para retirar suciedad mientras el rodillo está en movimiento. El eje y cojinetes son de acero al carbono (AISI 1030 y AISI 1340 respectivamente), la tubería de alimentación de agua es de HMPE y las persianas son de PVC reciclable. En este sentido, los elementos de tapa, tanto la chapa como las carcasas son de

una aleación de aluminio y magnesio que dotan al SIL-PSF que puede reusarse, convertirse en materia prima para fabricar otros elementos o reciclarse con relativa facilidad.

**Tabla 1. Lista de elementos y materiales del SIL-PSF**

Elemento	Material	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Elemento	Material	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
Perfil 30x30 Tipo-B	Aluminio	2.67	Correas	Caucho/ poliéster	1.157
Perfil cuadrado EN AW 6060	Aluminio	2.67	Guías	HMPE	0.955
Perfil ISO L30x30x3 Aluminio	Aluminio	2.67	Armazón del rodillo	Aluminio	2.670
Perfil especial de aluminio	Aluminio	2.67	Rodillo	Cerdas de espuma	0.030
Anclaje de fijación de aluminio	Aluminio	2.67	Eje	Acero AISI 1010	7.900
Uniones para correas	Aluminio	2.67	Cojinetes	Acero AISI 1340	7.900
Tornillo Tipo 1	Aluminio	2.67	Tubería de agua	HMPE	0.935
Tornillo Tipo 2	Aluminio	2.67	Chapa base	Al-Mg <sub>4</sub>	2.690
Tuercas	Aluminio	2.67	Carcasa inferior	Al-Mg <sub>4</sub>	2.690
Piñón (engranaje recto)	Acero AISI 4140	7.90	Carcasa superior	Al-Mg <sub>4</sub>	2.690
Rueda (engranaje recto)	Acero AISI 4140	7.90	Persiana	PVC	1.420
Poleas	Fundición gris	7.25			

**Figura 5. Esquema de despiece del SIL-PSF**



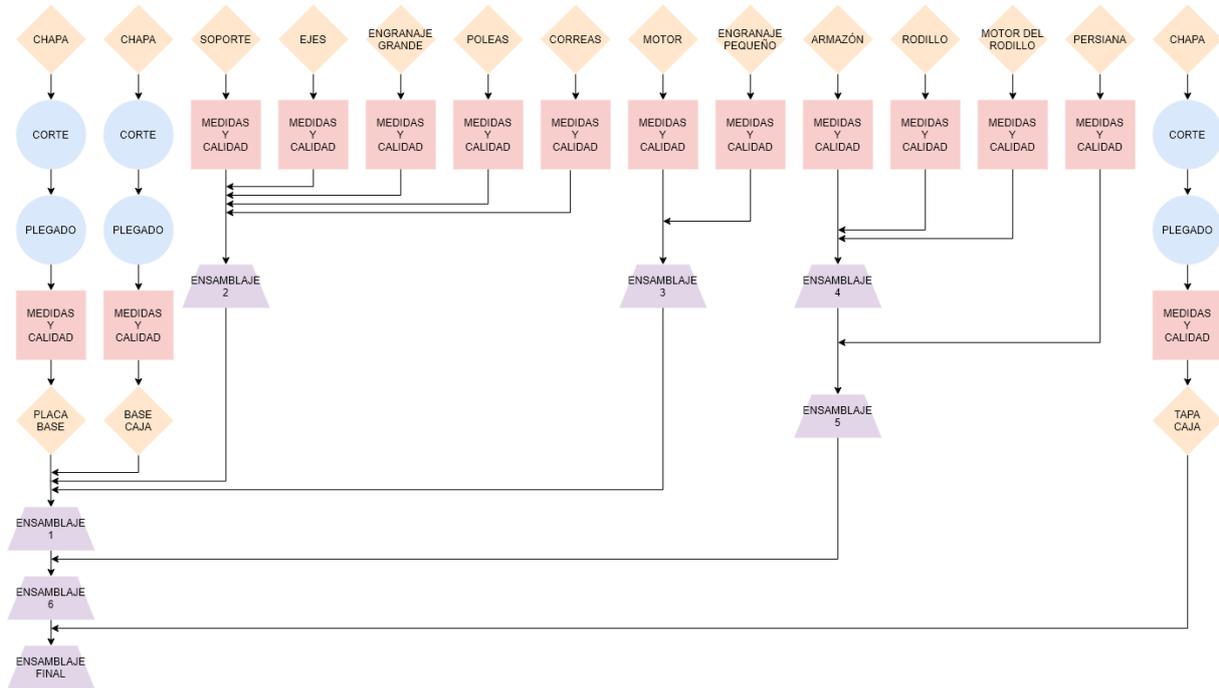
Componente	Id.
Placa base	1
Guía	2
Placa solar	3
Correa trapezoidal	4
Polea 1	5
Polea 2	6
Eje	7
Motor	8
Engranaje 1	9
Engranaje 2	10
Eje 2	11
Guía	12
Rodillo y armazón	13
Persiana	14
Base de la caja	15
Tapa de la caja	16
Soporte cojinete 1	17
Soporte cojinete 2	18
Soporte cojinete 3	19
Soporte cojinete 4	20
Manguera	21
Estructura portante	22

### 4.3 Estudios de impacto ambiental

En el proceso de fabricación se definen para todos los elementos que conforman el SIL-PSF todas las operaciones necesarias, así como las medidas y calidad de los diferentes tipos de ensamblaje a los que se van a ver sometidos los subensamblajes y piezas individuales. Los procesos de medidas y verificaciones de calidad, así como las operaciones de corte, plegado y ensamblajes intermedios se pueden ver en la Figura 5.

Los elementos de la caja se realizan mediante operaciones de corte y plegado, descartando la operación de moldeo de polímeros debido a las grandes dimensiones de la propia caja y el consumo energético asociado (entre 10 y 35 MJ/kg). Sin embargo, la energía necesaria para procesar la aleación de aluminio-magnesio de identificación 5182 H18, adecuada para ambientes de exposición solar y humedad oscila entre 5.11 y 5.65 MJ/kg, lo cual reduce significativamente el coste del procesado y justifica su uso en detrimento del moldeo de polímero.

**Figura 6. Esquema de procesos para la producción de un SIL-PSF**



Del estudio del impacto energético asociado se puede estimar por un lado la energía total para manufacturar cada uno de los elementos que compone el sistema así como la huella de carbono asociada. El diseño está sujeto a posibles mejoras e iteraciones posteriores en el diseño que reduzcan estos valores relacionados con el impacto ambiental.

El impacto ambiental se ha estimado en base a las dimensiones de las piezas, materiales empleados e información disponible de algunos de los componentes, tales como la placa solar fotovoltaica. La producción de un panel solar fotovoltaico comercial conlleva una emisión de 497.96 kg de CO<sub>2</sub> (ABALEO, 2020).

**Tabla 2. Lista de elementos e impacto ambiental del SIL-PSF**

Pieza	Consumo de energía (MJ)	Huella de CO <sub>2</sub> (kg)	Pieza	Consumo de energía (MJ)	Huella de CO <sub>2</sub> (kg)
Caja inferior	100.0	7.71	Eje (x2)	114.4	8.80
Placa solar	5011.2	497.96	Rodillo	645.0	39.90
Chapa base	112.0	8.60	Piñón	14.8	1.14
Caja superior	29.1	2.24	Rueda	17.9	1.38
Guía (x2)	85.0	6.66	Polea (x4)	236.8	18.24
Persiana	507.0	25.50	Correa (x2)	20.4	1.97
Armazón de rodillo	146.0	7.34	Estructura soporte	10.2	0.99
Cojinete (x4)	93.2	7.16	<b>Total</b>	<b>7143.0</b>	<b>635.59</b>

La huella de carbono del SIL-PSF es de 635.59 kg de CO<sub>2</sub>, mientras que la huella de un panel individual es de 497.96 kg de CO<sub>2</sub>. Por tanto, la huella asociada a los elementos auxiliares que no forman parte del panel es de 137.63 kg de CO<sub>2</sub> (un 21.65% del total). En lo referente al consumo de energía, el SIL-PSF tiene asociado un consumo de 7143 MJ, de los cuales el

panel individual tiene asociado un consumo de energía de 5011.2 MJ y los demás elementos 2131.8 MJ (un 29.84%) del total.

Este cálculo contempla el impacto ambiental directo de la manufactura del SIL-PSF. Sin embargo, la componente de contaminación debida a agentes como el transporte no está definida en el diseño. Esta componente se podría calcular por unidad de SIL-PSF dependiendo de la forma de empaquetado, las localizaciones geográficas de producción, puntos de manufactura y distribución en función del volumen de ventas previsto. Sin embargo, es difícil estimar este valor si se desconocen estos datos.

Para rentabilizar este incremento de emisiones de kg de CO<sub>2</sub> del SIL-PSF con respecto a los paneles solares individuales convendría realizar un estudio de la zona en particular y evaluar cuáles son las pérdidas de rendimiento debido a las acciones climáticas. De esta forma, puede calcularse la pérdida de operatividad anual equivalente en kg de CO<sub>2</sub> para escenarios en los que no se instale el SIL-PSF y compararla con situaciones donde este sistema sí esté implantado. En el momento en el que las pérdidas de operatividad debido a agentes externos por panel supere los 137.63 kg de CO<sub>2</sub> con respecto a una situación bajo las mismas circunstancias con un panel solar fotovoltaico integrado en un SIL-PSF, este es viable en términos medioambientales. Previsiblemente, esta solución será más probable en entornos áridos y/o agresivos donde esté instalado el panel, ya que las pérdidas de operatividad son más notorias en este tipo de ambientes.

## 5. Conclusiones

El SIL-PSF es un diseño sencillo y funcional, y que puede justificarse según las condiciones ambientales donde las pérdidas de operatividad en un medio-largo plazo de paneles solares puedan ser significativas.

Las líneas futuras de investigación incluyen un estudio de costes, un estudio más particularizado sobre paneles solares fotovoltaicos de tipos en concreto (cristalinos, de teluro cádmico, etc.), evaluando cuáles son los costes unitarios de los componentes que integran el SIL-PSF en el momento de comenzar la producción y el ensamblaje. Estos costes se desglosarían en partidas referentes a la estructura de unión, el sistema de accionamiento, la mano de obra, el mecanismo de limpieza, el sistema de envolvente y cubrición y el panel solar fotovoltaico.

Además, podrían plantearse nuevas iteraciones en cuanto al diseño tras evaluar los ensayos y realizar estudios adicionales sobre el transporte y el paletizado de componentes. En dicho estudio, y debido a la heterogeneidad de las dimensiones de los materiales podría preverse que se pueda plantear un reparto por componentes antes que de unidades individuales, especialmente si se pretenden instalar sistemas SIL-PSF en cantidades considerables.

Los estudios de viabilidad económica, estudiando los parámetros financieros de Valor Actual Neto, Retorno de la Inversión y Tasa Interna de Retorno, así como el estudio del panorama de la energía solar fotovoltaica en los años posteriores al inicio de la fase de pruebas, se realizarían una vez acabada la fase de I+D+i de desarrollo de producto, incluyendo posibles iteraciones teniendo siempre en mente la sostenibilidad y eficiencia de la energía producida.

## Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible



## Bibliografía

- ABALEO, Declaración Ambiental de Productos de paneles solares – Tratamiento de datos de Energía fotovoltaica, obtenido el 11 de abril de 2021, desde [https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2020/06/7\\_Huella\\_de\\_CO2\\_de\\_la\\_energia\\_solar\\_termica\\_BDR\\_TH\\_ERMEA\\_GROUP\\_fenercom-2020.pdf](https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2020/06/7_Huella_de_CO2_de_la_energia_solar_termica_BDR_TH_ERMEA_GROUP_fenercom-2020.pdf)
- Barroso, G. S., Chaparro, M. G., Ayuso, M. J. C., & Calcedo, J. G. S. (2019). Electricity in hospitals: solutions based on economies of scale= Energía eléctrica en hospitales: soluciones basadas en economías de escala. *Building & Management*, 3(3), 12-16.
- Chaichan, M. T., & Kazem, H. A. (2017). Effect of sand, ash and soil on photovoltaic performance: An experimental study. *International Journal of Scientific Engineering and Science*, 1(2), 27-32.
- Fraunhofer Institute for Solar Energy systems, Photovoltaics Report, 2020
- Jordan, D. C., & Kurtz, S. R. (2013). Photovoltaic degradation rates—an analytical review. *Progress in photovoltaics: Research and Applications*, 21(1), 12-29.
- Kazem, H. A., Chaichan, M. T., Al-Waeli, A. H., & Sopian, K. (2020). A review of dust accumulation and cleaning methods for solar photovoltaic systems. *Journal of Cleaner Production*, 123187.
- Ndiaye, A., Charki, A., Kobi, A., Kébé, C. M., Ndiaye, P. A., & Sambou, V. (2013). Degradations of silicon photovoltaic modules: A literature review. *Solar Energy*, 96, 140-151.
- Oh, S., Figgis, B. W., & Rashkeev, S. (2020). Effects of thermophoresis on dust accumulation on solar panels. *Solar Energy*, 211, 412-417.
- Vasconcelos Sampaio, P. G., Aguirre Gonzalez, M. O., Monteiro de Vasconcelos, R., Santos, M. A. T. D., Jácome Vidal, P. D. C., Pereira, J. P. P., & Santi, E. (2020). Prospecting technologies for photovoltaic solar energy: Overview of its technical-commercial viability. *International Journal of Energy Research*, 44(2), 651-668.
- REE, Estructura de Generación por tecnologías, obtenido el 11 de abril de 2021, desde <https://www.ree.es/es/datos/generacion/estructura-generacion>
- de Wild-Scholten, M. M. (2013). Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 119, 296-305.
- Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, A. L., & Yang, C. (2018). Global status of recycling waste solar panels: A review. *Waste management*, 75, 450-458.