

## Sistema fotovoltaico de alta eficiencia para tejado

En aplicaciones de tejado, donde el balance de sistema y los costes blandos pueden suponer hasta un 80% del coste total de una instalación, la competitividad de los sistemas fotovoltaicos tiene un gran margen de mejora. En este escenario, la reducción continuada de los costes de generación tiene que pasar por aumentar la energía generada por los paneles solares, es decir, por incrementar su eficiencia de conversión.

GRUPO DE INTEGRACIÓN DE SISTEMAS E INSTRUMENTOS DEL INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

### DR. CÉSAR DOMÍNGUEZ DOMÍNGUEZ.

PROFESOR AYUDANTE DOCTOR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

### DR. IGNACIO ANTÓN HERNÁNDEZ

CATEDRÁTICO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

### STEVE A. ASKINS

INGENIERO DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

**E**l abrupto abaratamiento de los paneles fotovoltaicos en los últimos años ha conseguido reducir de forma drástica los costes de generación de la energía de origen solar, acelerando su despliegue masivo. Sin embargo, el margen de reducción del coste de un panel es cada vez menor, y su peso en el coste total del sistema es cada vez menor, por lo que dichas reducciones tienen a su vez un impacto menguante en el coste de la electricidad generada (/kWh). En aplicaciones de tejado, donde el balance de sistema y los costes blandos pueden suponer hasta un 80% del coste total de una instalación (Ilas 2018), la competitividad de los sistemas fotovoltaicos tiene un gran margen de mejora.

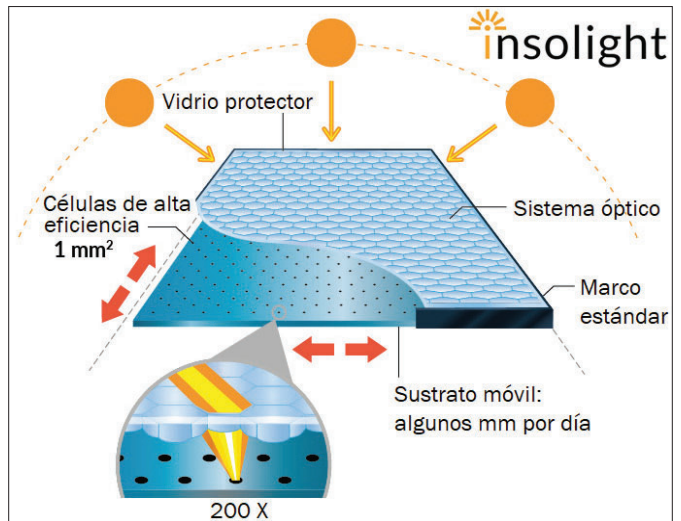
En este escenario, la reducción continuada de los costes de generación tiene que pasar por aumentar la energía generada por los paneles solares, es decir, por incre-

mentar su eficiencia de conversión. Según un reciente informe del Massachusetts Institute of Technology, el incremento de la eficiencia del panel será el principal factor de reducción de los costes de generación eléctrica de origen solar (Kavlak 2018). Las células solares de silicio cristalino han alcanzado prácticamente su eficiencia límite, por lo que no pueden esperarse incrementos significativos de eficiencia sin desarrollar arquitecturas alternativas al panel de silicio convencional. Además, la expansión del vehículo eléctrico supondrá un aumento del consumo en lugares de residencia y de trabajo, que incrementará el número de instalaciones fotovoltaicas en edificios, aparcamientos y puntos de carga del vehículo. Muchas instalaciones tendrán limitada su capacidad de generación fotovoltaica por el área disponible para el generador fotovoltaico y no por la demanda que será superior a la capacidad de generación. En este contexto los módulos fotovoltaicos de alta eficiencia adquieren un valor añadido, puesto que maximizan la generación eléctrica en el área disponible para el generador.

Una de las tecnologías que ha prometido niveles de eficiencia muy superiores a las actuales es la concentración fotovoltaica, conocida como CPV (acrónimo del término inglés concentrator photovoltaics). La tecnología CPV se basa en la utilización de un sistema óptico que concentra la luz sobre una célula solar fotovoltaica de tamaño

mucho menor, de tal forma que se reduzca la cantidad de material semiconductor utilizado en la célula (reduciendo su coste) y se incremente su eficiencia por el uso de una intensidad luminosa mayor. Al reducir la cantidad de material semiconductor, es posible utilizar estructuras semiconductoras más sofisticadas y caras con eficiencias de conversión mucho mayores que la del silicio cristalino (Algora 2015), como por ejemplo las células multiunión de semiconductores III-V. El esfuerzo de investigación en esta tecnología durante la última década se ha traducido en unos resultados sobresalientes en términos de eficiencia, con módulos que superan el 40% de eficiencia (Steiner 2016), pero también en cuanto a su fiabilidad y vida útil, con plantas solares de decenas de megavatios que han demostrado una producción sostenida, sin degradación medible, desde su creación hace más de 11 años (Gerstmeier 2015). En cuanto a su coste, la curva de aprendizaje de la tecnología llegó a mostrar tasas de aprendizaje similares o superiores a las del silicio (Haysom 2015) y costes de generación similares, a pesar de contar con una capacidad instalada 3 órdenes de magnitud menor (del orden de medio gigavatio). Aunque el coste de la inversión inicial es mayor en plantas CPV que en las convencionales de silicio, la energía generada por unidad de área es mucho mayor, por lo que la electricidad generada puede ser incluso más barata que con panel plano en localizaciones con una gran fracción de radiación directa (Wiesenfarth 2017). Sin embargo, la fuerte reducción de costes en los paneles solares de silicio cristalino y la fatiga inversora durante los años de la crisis económica paralizaron el despliegue de esta tecnología para la construcción de grandes plantas, principalmente debido al mayor coste de financiación de una tecnología menos conocida y, por tanto, con mayor riesgo.





Sin embargo, el coste del panel puede ser un criterio menos importante que la eficiencia en aplicaciones donde su peso sobre el coste total de la electricidad generada es mucho menor que en las grandes plantas de suelo. En general, en aplicaciones donde esté limitada el área de colector o donde sea especialmente útil producir la mayor energía posible en un espacio delimitado, la alta eficiencia de los sistemas CPV aporta un valor añadido alto. Como ya se ha comentado, ejemplos de estas aplicaciones pueden ser las instalaciones de tejado, tanto residencial como comercial, especialmente de zonas urbanas (por su elevado número de plantas), o las estaciones de carga de vehículos eléctricos. En particular, los edificios de energía cero (EEC) están en el foco del plan estratégico para la energía solar fotovoltaica (Strategic Strategic Energy Technology Plan), que quiere priorizar aquellas tecnologías fotovoltaicas que sean instrumentales para su desarrollo. Ya se ha estimado que los sistemas fotovoltaicos de panel plano sólo podrán neutralizar el consumo de edificios de hasta 3 plantas. Si se dobla la eficiencia, utilizando por ejemplo sistemas CPV, podrían conseguirse EEC de hasta 6 o 7 plantas (Hachem 2014).

Sin embargo, existe una fuerte barrera de entrada de los sistemas CPV como instalaciones de tejado: la necesidad de utilizar seguidores solares a dos ejes para mantener los paneles siempre apuntando al sol (ya que la concentración de la luz implica la reducción de su tolerancia angular). Esto seguidores, típicamente de dos ejes sobre pedestal, son elementos voluminosos de difícil integración en un tejado residencial. Por esta razón, grupos de investigación de todo el mundo lle-

van años explorando conceptos ópticos de concentración que permitan un seguimiento solar integrado dentro del propio panel (Apostoleris 2016) y puedan por tanto ser instalados en estructuras fijas de tejado de forma similar a los paneles convencionales.

La empresa suiza Insolight ha desarrollado uno de estos sistemas. Para mantener un seguimiento adecuado de la luz del sol de forma interna al panel, el sustrato de células incorpora un sistema interno de desplazamiento horizontal que mantiene la luz concentrada por las lentes allí donde se encuentra el receptor. Este sistema interno de desplazamiento requiere extensiones de unos pocos milímetros por día, por lo que su consumo es mínimo. El espesor del panel resultante es similar al de los paneles solares estándar, manteniendo un aspecto e integración similar al de los paneles solares convencionales y facilitando su instalación. El Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid (IES-UPM) ha participado en la validación de esta tecnología pionera, que consigue elevar la eficiencia de estos dispositivos hasta el 29% (en condiciones estándar de medida para concentradores, según norma IEC 62670), un incremento superior al 50% respecto de los paneles fotovoltaicos convencionales. Previamente, esta tecnología ya había alcanzado una eficiencia del 36% en un minimódulo de laboratorio.

La colaboración entre la Universidad Politécnica de Madrid e Insolight está sostenida por el proyecto europeo GRECO (787289) 'Fostering a Next Generation of European Photovoltaic

SoCietly through Open Science', que tiene por objetivo demostrar los conceptos de

investigación e innovación responsable (RRI por sus siglas en inglés) y ciencia abierta ('open science') en el desarrollo de la tecnología fotovoltaica. El IES-UPM coordina este proyecto en el que participan empresas, administración y organismos de investigación internacionales. En este contexto, se monitorizará un sistema de varios kilovatios precisamente como instalación de tejado en el IES-UPM. Los datos se publicarán de forma abierta y se utilizarán para generar modelos de predicción de la energía generada por este sistema pionero (también sobre herramientas de código abierto), con el objetivo de mejorar el conocimiento de este tipo de sistemas por parte de usuarios potenciales, promotores de proyectos, instaladores, reguladores, etc. y facilitar así su aceptación por parte de la sociedad ◀◀

- C. Algora and I. Rey-Stolle, Handbook on Concentrator Photovoltaic Technology. John Wiley & Sons, Limited, 2015.
- H. Apostoleris et al., "Tracking-integrated systems for concentrating photovoltaics". Nature Energy 1, 16018, 2016.
- T. Gerstmaier et al., "Large-scale and long-term CPV power plant field results," in AIP Conference Proceedings, vol. 1679, p. 30002, 2015.
- C. Hachem et al., "Energy performance enhancement in multistory residential buildings", Appl. Energy, vol. 116, pp. 9–19, 2014.
- J. E. Haysom et al., "Learning curve analysis of concentrated photovoltaic systems.", Progress in photovoltaics: Research and applications, vol. 23 no.11 pp. 1678-1686, 2015
- G. Kavlak, J. McNerney, and J. E. Trancik, Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules, Energy Policy, vol. 123, pp. 700–710 (2018).
- A. Ilas, "Renewable Power Generation Costs in 2017", International Renewable Energy Agency, IRENA Renewable Cost Database, 2018.
- M. Steiner et al., "43 % Sunlight to Electricity Conversion Efficiency Using CPV," IEEE J. Photovolt., vol. 6, no. 4, pp. 1020–1024, 2016.
- M. Wiesenfarth et al., "Current status of concentrator photovoltaic (CPV) technology", 2017.