

CLASIFICACIÓN DE LOS PANELES SOLARES HÍBRIDOS (PVT)

GONZÁLEZ PEÑA, David ⁽¹⁾; ALONSO TRISTÁN, Cristina ⁽¹⁾; DÍEZ MEDIAVILLA, Montserrat ⁽¹⁾;

VARELA DÍEZ, Fernando ⁽¹⁾; PEREZ BURGOS, Ana ⁽¹⁾

davidgp@ubu.es

⁽¹⁾Grupo de Investigación SWIFT (Solar and Wind Feasibility Technologies), Dpto. Ingeniería Electromecánica Escuela Politécnica Superior, Universidad de Burgos

Avda. Cantabria s/n, Burgos, 09006, España.

RESUMEN

Hasta hace pocos años existían solo dos tipos de tecnologías para aprovechar la energía solar: producción de electricidad mediante paneles fotovoltaicos o la producción de calor mediante los paneles solares térmicos. Sin embargo, la tecnología fotovoltaica presenta una baja eficiencia, es decir se precisan grandes superficies para cubrir pequeñas demandas energéticas. Este bajo rendimiento, de entre 10-20%, además se ve penalizado por el sobrecalentamiento que sufren las células debido a la incidencia de la radiación solar [1].

La tecnología solar híbrida surgió como solución a este problema. Se trata de aprovechar la energía térmica residual del panel fotovoltaico mediante un recuperador de calor para otros usos, además de disminuir la temperatura de trabajo de las células fotovoltaicas. Un panel híbrido consiste, en la unión de la tecnología solar térmica con la tecnología fotovoltaica, llegando a incrementar la eficiencia del panel por encima del 70 % [2].

En este trabajo se presenta una revisión y clasificación de las diferentes tecnologías de hibridación PVT, en función del fluido térmico utilizado así como de la tipología y geometría del recuperador de calor empleado y un análisis de las principales aplicaciones de esta tecnología [3-5]

Palabras clave: solar híbrida, radiación,

REFERENCIAS.

- [1] Skoplaki, E. and J.A. Palyvos, "On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations", *Solar Energy*, 2009, 83(5): p. 614-624.
- [2] Fudholi, A., et al., "Performance analysis of photovoltaic thermal (PVT) water collectors", *Energy Conversion and Management*, 2014, 78: p. 641-651.
- [3] Chow, T.T., "A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology", *Applied Energy*, 2010, 87(2): p. 365-379.
- [4] Riffat, S.B. and E. Cuce, "A review on hybrid photovoltaic/thermal collectors and systems", *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2011, 6(3): p. 212-241.
- [5] Zhang, X., et al., "Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16(1): p. 599-617.

1. Introducción

Hasta la aparición de la tecnología híbrida, la energía solar se aprovechaba de dos formas, producción de electricidad con paneles fotovoltaicos (PV) o producción de calor con paneles solares térmicos. En la Figura 1 se muestra un esquema de todas las tecnologías solares existentes hasta la fecha.

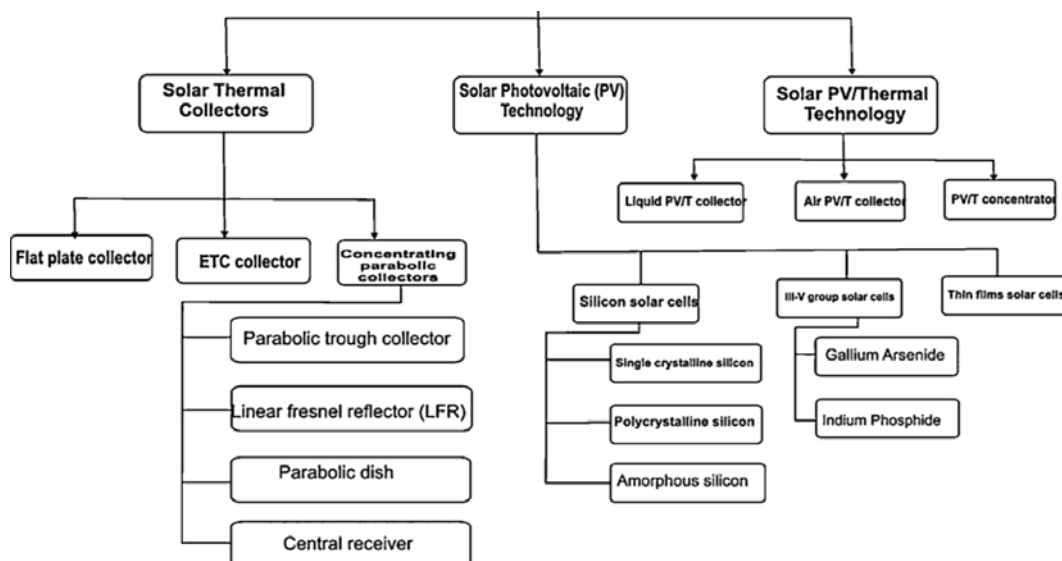
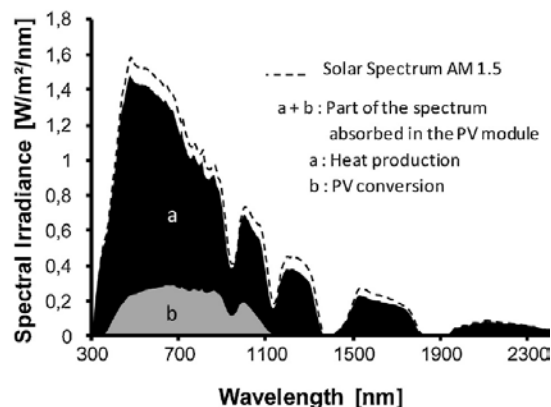


Figura 1: Clasificación de los diferentes colectores solares.[1]

El rendimiento de la tecnología fotovoltaica es relativamente bajo, por lo que para conseguir cubrir pequeñas demandas energéticas es necesario instalar una gran superficie. Este bajo rendimiento, que suele oscilar entre el 10-20%, dependiendo de la tecnología empleada, se ve perjudicado por el sobrecalentamiento que sufren las células debido a la incidencia de la radiación solar [2].



En la Figura 2 podemos observar una representación del espectro de la radiación solar. En ella se puede observar las zonas de transformación de la energía en los paneles fotovoltaicos.

Se aprecia claramente como la mayor parte de la energía que capta el panel es de tipo térmico (zona a). Si se quiere aumentar el rendimiento eléctrico de los paneles fotovoltaicos, es imprescindible disipar y aprovechar de algún modo toda esa cantidad de energía térmica. Con esa idea surge la tecnología solar híbrida, recoger y utilizar la energía térmica y disminuir la temperatura de las células fotovoltaicas.

Figura 2: Clasificación de los diferentes[3]

2. Tipología de paneles solares híbridos

Numerosos autores han realizado trabajos sobre tipologías de paneles PV/T[4-7]. La mayoría coinciden en la clasificación, en función del tipo de fluido que utilizan para absorber el calor del panel, pudiendo ser éste, líquido, gaseoso o ambos. Sin embargo, también es posible hacer una clasificación por el uso que se hace de la energía extraída del panel, que de forma general podemos englobar en climatización, ACS, integración en fachadas y bombas de calor.

Independientemente de estas clasificaciones, se está desarrollando la tecnología híbrida con concentración. Esta utiliza principalmente fluidos líquidos, aunque también se pueden emplear gaseosos.

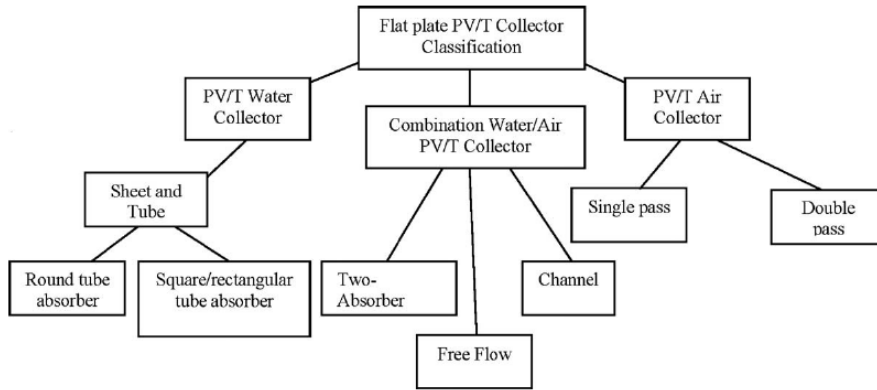


Figura 3: Clasificación de colectores híbridos planos. [5]

Puesto que la clasificación más habitual es en función del fluido; en este trabajo se realiza una descripción de las diferentes tipologías, clasificándolas mediante el fluido refrigerante que utilizan. En el esquema de la Figura 3 se representa una clasificación de las diferentes tipologías planteadas por Ibrahim[5].

3. Colectores de fluido gaseoso.

Estos tipos de paneles PV/T son, por construcción, los más sencillos. Consisten en realizar una cámara por la que se hace circular el fluido refrigerante, que suele ser aire tomado del propio entorno o del recinto a calefactar. En el año 2000 Hegazy[8], comparó el funcionamiento con 4 configuraciones diferentes variandola circulación del aire superior y/o inferior, así como su dirección. En la figura 4 podemos observar las 4 configuraciones planteadas.

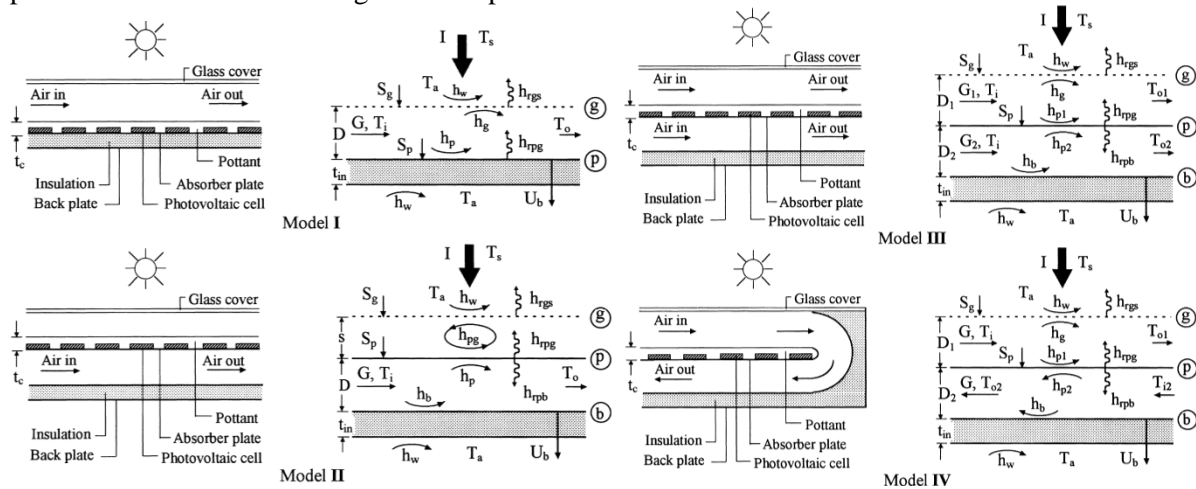


Figura 4: Esquemas de colectores PV/T de aire.[8]

Este trabajo concluye que el modelo más eficiente es el III. Esto se debe a que el diseño cuenta con una doble refrigeración de la célula fotovoltaica, una por cada lado. También se demuestra que, salvo en el modelo I, el incremento de la temperatura del fluido no depende del modelo utilizado, siendo prácticamente el mismo.

Al utilizar aire como fluido y debido a la baja transmisión térmica que tiene, varios autores han tratado de optimizar la superficie de contacto, estudiado diferentes modelos de intercambio para aumentarla [9]. El autor Othman[10] planteó la geometría en la cual se colocan aletas en la parte inferior del panel (Figura 5) para incrementar la superficie de transferencia térmica.

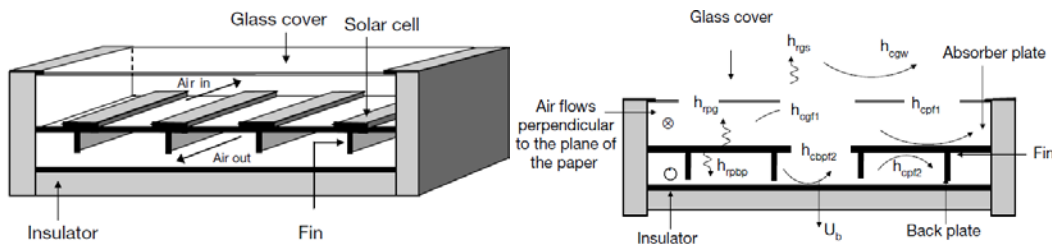


Figura 5: Esquema de colector de aire con aletas.

Con la misma premisa de aumentar la superficie de intercambio de calor, otros autores han planteado diferentes geometrías en los colectores. En la figura 6 podemos observar otros ejemplos de colectores.

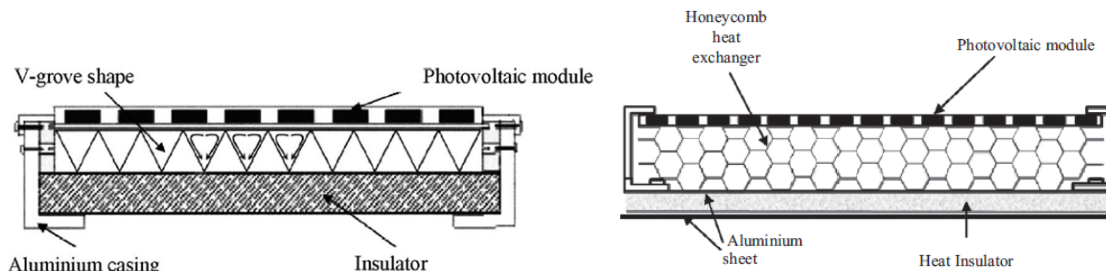


Figura 6: Otras geometrías de colectores para aire. Triangular [11] y en panel de abeja [12]

Otro tipo de aplicación PV/T es la de integración en fachada de paneles PV. Mediante la circulación de aire por una cámara hueca, dispuesta en la parte trasera, se consigue refrigerar el módulo PV y por tanto el aire caliente puede ser utilizado para la climatización de ciertas áreas de edificios.

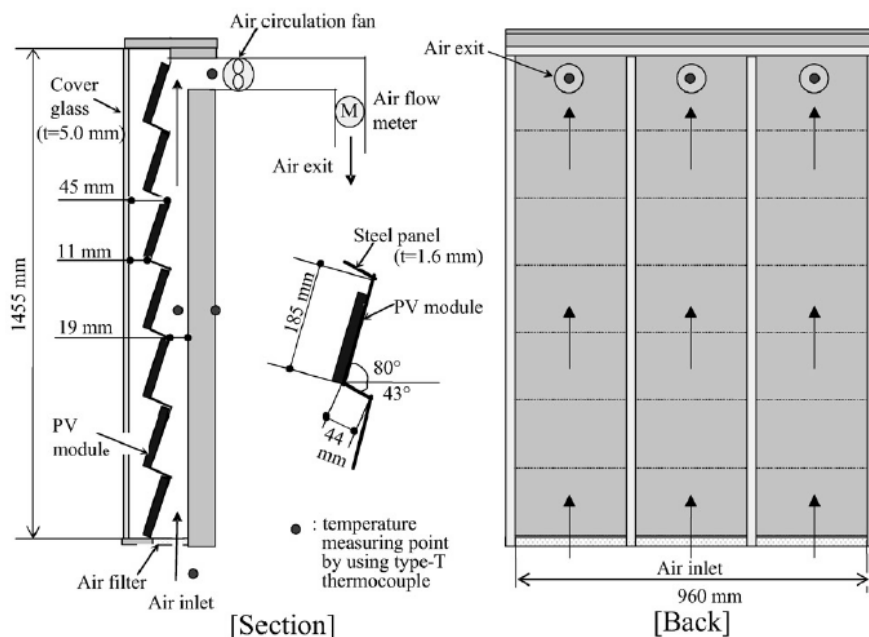


Figura 7: Esquema de PV/T en fachada refrigerado mediante aire. [13]

4. Colectores de fluido líquido

Otro tipo de paneles PV/T son aquellos que utilizan un líquido como fluido caloportador. Por su eficiencia y similitud con los clásicos paneles solares térmicos, son estos colectores los que mayor desarrollo están teniendo. Los líquidos utilizados presentan una mayor transferencia térmica y mayor capacidad de transporte de energía por unidad de masa. Es por ello, que son colectores menos voluminosos. En la figura 8, se representa una clasificación de los principales fluidos utilizados, que

por lo general, son el agua y los líquidos refrigerantes. Estos últimos se utilizan para ciclos de compresión simple[14].

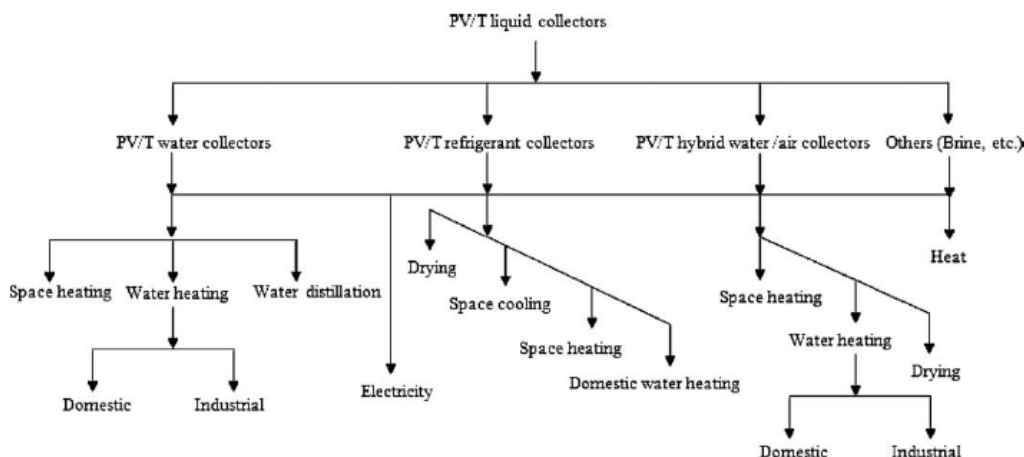


Figura 8: Clasificación de los colectores PV/T basados fluidos líquidos.

Chow y Riffat[15, 16] analizan las diferentes configuraciones de circulación del líquido por el PV/T. En la Figura 9, se observa los diferentes diseños que se pueden plantear; con refrigeración por la parte inferior de las células fotovoltaicas mediante tubos, canales o mediante la circulación de un flujo en lámina libre, también se contempla la posibilidad de hacer circular el fluido por la parte superior de los módulos fotovoltaicos.

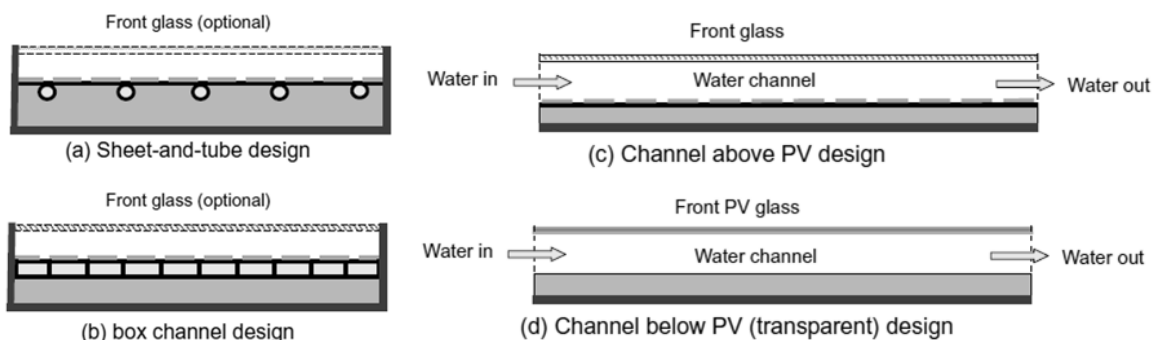


Figura 9: Esquema de diferentes configuraciones de colectores PV/T de agua.

Por afinidad a los paneles solares térmicos, los que más desarrollo están teniendo son los de tubos. Un número importante de estudios se centran en la realización de análisis de diferentes geometrías y distribuciones. Ibrahim[17] realiza un estudio muy completo donde se comparan 7 geometrías diferentes de colectores. En la figuras 10 se muestran esquema de las geometrías comparadas.

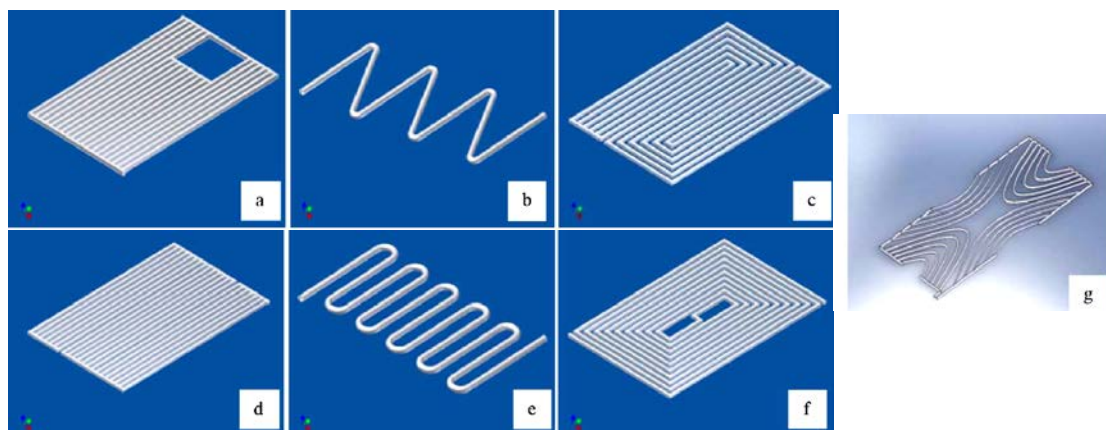


Figura 10: Geometrías de colectores estudiados por Ibrahim.[17]

En el estudio se concluye que la geometría más eficiente, desde el punto de vista térmico, es la del caso f), un colector continuo en espiral, seguido por el diseño c) y d), en ambos se consiguen rendimientos muy similares. Sin embargo, constructivamente son más complejos que el caso de flujo directo a).

El último elemento diferenciador de esta tipología es, la geometría de la sección de tubo por donde circula el fluido. *Leonforte*[18] hace una revisión de las 3 configuraciones más comunes.

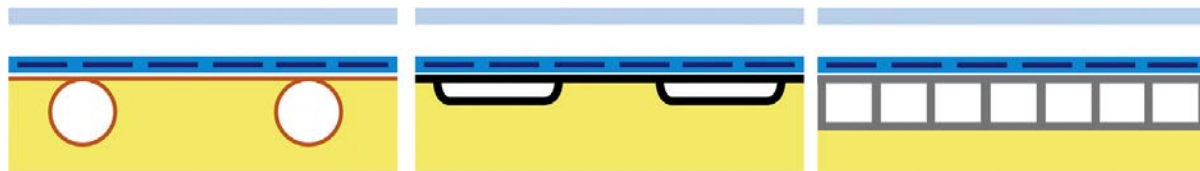


Figura 11: Secciones de las conducciones usadas en los colectores. [18]

Posteriormente, se desarrollaron geometrías similares, por ejemplo, la segunda mostrada en la Figura 11, en la que se pretende aumentar el perímetro en contacto con la superficie caliente del panel. A partir de eso, se plantean secciones ovaladas y rectangulares[19].

5. Colectores mixtos agua-aire.

Por último hay autores que juntan las dos técnicas enunciadas anteriormente en un mismo módulo. Con este mix se consigue calentar agua y aire al mismo tiempo.

En sus revisiones de paneles híbridos *Riffat*[16], *Zondag*[20], *Charalambous*[21], e *Ibrahim*[5], analizan los esquemas generales de este tipo de colector.

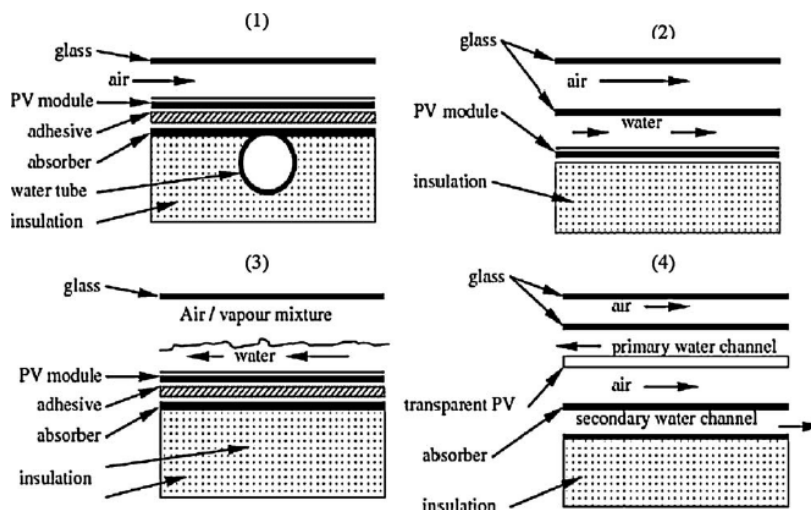


Figura 12: Esquemas de PV/T mixtos agua-aire.

Las diferentes geometrías varían exclusivamente en la posición de los flujos de cada uno de los fluidos, así como del número de pasos. Estos modelos no tienen una gran utilidad debido a la dificultad de construcción que tienen y a la baja temperatura de los fluidos de salida obtenidos.

6. Panel híbrido de concentración

Una de las alternativas a los módulos solares planos que se plantean, con el fin de aumentar la eficiencia de los paneles ha sido la instalación de elementos concentradores de radiación solar. La concentración solar, es favorable en los colectores solares térmicos ya que permiten trabajar con rangos de temperaturas muy superiores a la temperatura de vaporización. Sin embargo, en los paneles fotovoltaicos este aumento de la radiación incidente causa un sobrecalentamiento en el módulo PV

ocasionando una disminución del rendimiento eléctrico así como una mayor degradación. Una solución a estos inconvenientes es la de colocar elementos refrigerantes en las células PV.

Esta alternativa permite su clasificación en función de la tecnología de concentración. Existen dos tipología, la primera mediante reflectores parabólicos y la segunda mediante lentes concentradoras.

La concentración mediante colectores parabólicos permite realizar dispositivos lineales los cuales presentan cierta modularidad en la instalación. Existen dos diseños diferentes de esta tecnología. La primera es planteada por *Hedayatizadeh*[22], que cuenta con dos tramos parabólicos independientes que refleja la radiación al fondo del colector donde se colocan el módulo PV refrigerado. El segundo diseño se compone de un colector parabólico que concentra la radiación en el foco de la misma. El módulo híbrido tiene forma triangular. En la figura 13[23] a la derecha se observa el esquema de montaje.

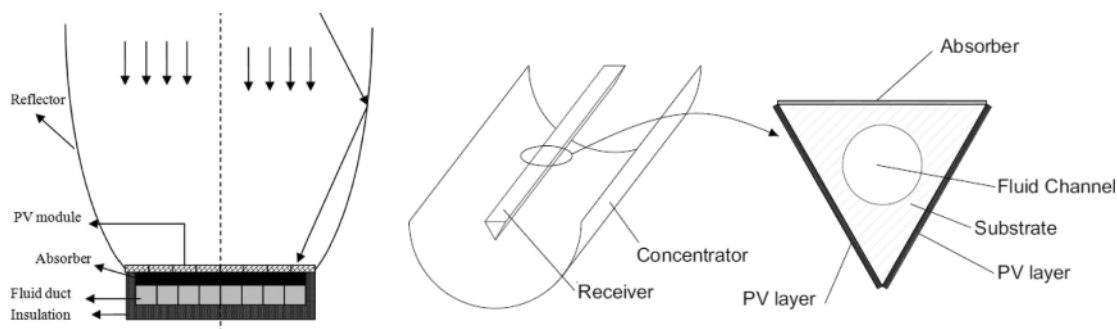


Figura 13: Colectores de baja concentración parabólica para PV/T.

Bernardo[24], presenta en su trabajo los resultados de funcionamiento de un prototipo de colector parabólico. En él especifica que el rendimiento eléctrico disminuye hasta el 6% cuando se usan células PV de 16% en condiciones nominales. Sin embargo la producción térmica es significativamente superior frente a la que se conseguiría con un PV/T sin concentración consiguiendo además una mayor temperatura en el fluido a la salida del colector.

La segunda tipología de concentración es mediante lentes. Estos concentradores tienen un inconveniente, el coste de las lentes es elevado y por tanto reduce su viabilidad económica frente a los de concentración mediante espejos. *Xu*[25] en su trabajo presenta el esquema de cálculo de esta tipología. Debido al elevado coste esta tipología está en desuso.

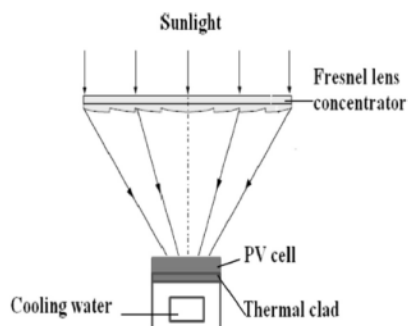


Figura 14: Colector PV/T de concentración mediante lente.

7. Conclusiones

La hibridación de paneles PV proporciona la capacidad de aprovechamiento del calor residual de los paneles PV y produce un incremento en el rendimiento eléctrico debido a la refrigeración de las células PV.

Se trata de una tecnología relativamente joven y por tanto se encuentra en etapa de desarrollo y optimización de los diseños. Las aplicaciones son numerosas por lo que su estudio es necesario.

Se ha realizado una revisión bibliográfica del estado del arte en la tecnología PV/T que ha permitido analizar y comparar las diferentes tipologías desarrolladas hasta el momento.

Los principales fluidos utilizados en los paneles PV/T son agua y aire, aunque cada vez son más los trabajos en los que utilizan la tecnología PV/T como evaporadores en bombas de calor y por tanto utilizan los fluidos refrigerantes.

La tecnología de baja concentración presenta una baja producción de electricidad pero se ve compensada con el incremento en la producción de energía térmica.

8. Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con la financiación presupuestaria del proyecto de investigación autonómico BU358A12-2

9. Referencias

- [1] Tyagi, V.V., S.C. Kaushik, and S.K. Tyagi, "Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16(3): p. 1383-1398.
- [2] Skoplaki, E. and J.A. Palyvos, "On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations", *Solar Energy*, 2009, 83(5): p. 614-624.
- [3] Dupeyrat, P., C. Ménézo, and S. Fortuin, "Study of the thermal and electrical performances of PVT solar hot water system", *Energy and Buildings*, 2014, 68(PART C): p. 751-755.
- [4] Charalambous, P.G., et al., "Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review", *Applied Thermal Engineering*, 2007, 27(2-3): p. 275-286.
- [5] Ibrahim, A., et al., "Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(1): p. 352-365.
- [6] Zhang, X., et al., "Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16(1): p. 599-617.
- [7] Zondag, H.A., "Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, 12(4): p. 891-959.
- [8] Hegazy, A.A., "Comparative study of the performances of four photovoltaic/thermal solar air collectors", *Energy Conversion and Management*, 2000, 41(8): p. 861-881.
- [9] Hussain, F., et al., "Design development and performance evaluation of photovoltaic/thermal (PV/T) air base solar collector", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 25(0): p. 431-441.
- [10] Othman, M.Y., et al., "Performance studies on a finned double-pass photovoltaic-thermal (PV/T) solar collector", *Desalination*, 2007, 209(1-3): p. 43-49.
- [11] Othman MY, R., SopianK, JinGL., "Performance study of photovoltaic- thermal (PV/T) solar collector with V-grooved absorber plate. *Sains Malaysiana* 2009; 38:537-s41."
- [12] F Hussain, M.Y.O., B Yatim, H Ruslan, K Sopian, Z. Anuar, S Khairuddin, "Comparison study of air base photovoltaic/thermal (PV/T) collector with different design of heat exchanger. In: *World renewable energy forum, WREF 2012, including world renewable energy congress XII and Coloradore new- able energy society (CRES) annual conference 1; 2012.p. 189-194.*"
- [13] Nagano, K., et al., "Development of thermal-photovoltaic hybrid exterior wallboards incorporating PV cells in and their winter performances", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2003, 77(3): p. 265-282.

- [14] Daghigh, R., M.H. Ruslan, and K. Sopian, "Advances in liquid based photovoltaic/thermal (PV/T) collectors", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(8): p. 4156-4170.
- [15] Chow, T.T., "A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology", *Applied Energy*, 2010, 87(2): p. 365-379.
- [16] Riffat, S.B. and E. Cuce, "A review on hybrid photovoltaic/thermal collectors and systems", *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2011, 6(3): p. 212-241.
- [17] Ibrahim, A., et al., "Performance of photovoltaic thermal collector (PVT) with different absorbers design", *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 2009, 5(3): p. 321-330.
- [18] Aste, N., C. del Pero, and F. Leonforte, "Water flat plate PV-thermal collectors: A review", *Solar Energy*, 2014, 102: p. 98-115.
- [19] Boddaert, S., D. Caccavelli, and C. Ménézo. *Hybrid PVTh panel optimisation using a femlab/matlab/simulink approach. in 2006 1st International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area, ISEIM*. 2006. Corte-Ajaccio.
- [20] Zondag, H.A., et al., "The yield of different combined PV-thermal collector designs", *Solar Energy*, 2003, 74(3): p. 253-269.
- [21] Charalambous, P.G., et al., "Optimization of the photovoltaic thermal (PV/T) collector absorber", *Solar Energy*, 2011, 85(5): p. 871-880.
- [22] Hedayatizadeh, M., et al., "Thermal and electrical assessment of an integrated solar photovoltaic thermal (PV/T) water collector equipped with a compound parabolic concentrator (CPC)", *International Journal of Green Energy*, 2013, 10(5): p. 494-522.
- [23] Calise, F., A. Palombo, and L. Vanoli, "A finite-volume model of a parabolic trough photovoltaic/thermal collector: Energetic and exergetic analyses", *Energy*, 2012, 46(1): p. 283-294.
- [24] Bernardo, L.R., et al., "Performance evaluation of low concentrating photovoltaic/thermal systems: A case study from Sweden", *Solar Energy*, 2011, 85(7): p. 1499-1510.
- [25] Xu, X., et al., "Thermal modeling and life prediction of water-cooled hybrid concentrating photovoltaic/thermal collectors", *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, 2013, 135(1).