

CONTART 2018: VII Convención de la Edificación
30 mayo - 1 junio 2018; Zaragoza (Spain): Colegio Oficial de
Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza. Escuela
Universitaria Politécnica de La Almunia, p.279-288

028

**PANELES SOLARES HÍBRIDOS:
ELECTRICIDAD Y CALOR EN UN SOLO PANEL**

MEDRANO MEDRANO, ISABEL¹; SIMÓN ALLUÉ, RAQUEL²; BRUN GRESA, GONZALO³

¹ EndeF Engineering, Zaragoza, España

E-mail: isabel.guedea@endef.com, Web: <http://endef.com/>

² EndeF Engineering, Zaragoza, España

E-mail: raquel.simon@endef.es, Web: <http://endef.com/>

³ EndeF Engineering, Zaragoza, España

E-mail: gonzalo.brun@endef.com, Web: <http://endef.com/>

PALABRAS CLAVE: ENERGÍA SOLAR, PANEL SOLAR HÍBRIDO, ELECTRICIDAD, CALOR, EDIFICACIONES.

RESUMEN

Las nuevas directivas europeas en materia de construcción están orientadas a la obtención de edificios de consumo energético casi nulo. Para ello, el desarrollo e implantación de energías renovables que sean capaces de satisfacer necesidades energéticas mediante una producción limpia, asequible e in-situ, se erige como una estrategia fundamental. Es por ello que presentamos en este trabajo la aplicación de una tecnología emergente, los paneles solares híbridos, capaces de proporcionar energía térmica y eléctrica en un mismo panel. Gracias a esta producción dual, este tipo de paneles aumenta la cantidad total de energía producida por m² en un 40% respecto a las soluciones tradicionales de colector térmico y panel fotovoltaico, lo que hace de su implantación una opción muy interesante en edificaciones con limitación de espacio en cubierta, como ocurre frecuentemente en centros urbanos. En este trabajo se estudia su aplicación a tres tipologías de edificios con consumos energéticos tipo asociados a sector residencial y terciario (hotel, polideportivo), para lo cual

se han considerado a su vez diferentes tipos de paneles solares híbridos, asignados según su temperatura de abastecimiento. El análisis final abarca desde la producción eléctrica y térmica de cada instalación a los ahorros obtenidos tanto en términos económicos como en disminución de emisiones de CO₂.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Híbridos-edificios casi cero emisiones

La Directiva Europea 2010/31/UE establece que todos los edificios nuevos construidos en la Unión Europea a partir de 2020 deberán ser edificios de consumo energético casi nulo, promoviendo la mejora de la envolvente térmica, la producción in-situ de energía renovable y la instalación de equipos de alta eficiencia energética. El cumplimiento de estos compromisos requiere una mayor generación de energía renovable en el sector de la edificación mediante tecnologías limpias y asequibles económicamente, entre las cuales la energía solar sobresale como una de las alternativas más prometedoras. Desde el comienzo del desarrollo de la tecnología solar, se han diferenciado dos tipologías de paneles: los módulos fotovoltaicos que generan electricidad y los colectores térmicos que calientan agua. De la combinación ambas tecnologías surgen los paneles híbridos. Se entiende por panel solar híbrido al panel solar que es capaz de transformar la irradiación solar en electricidad y calor de forma simultánea, y que superpone ambas tecnologías en un mismo panel. El panel híbrido es comúnmente conocido como PVT, de sus siglas en inglés (Photovoltaic/Thermal). A su versión de concentración se le denomina CPVT (Concentrating Photovoltaic/Thermal), y cuando se utiliza para integración arquitectónica, se denomina BIPVT (Building Integrated Photovoltaic/Thermal), aunque hasta el momento esta tecnología se haya todavía en fase de prototipo.

Desde una perspectiva global, el incremento sustancial del precio del petróleo potenció que su desarrollo se produjese en la década de los 70 [1]. Sin embargo, su desarrollo está motivado por tres conceptos diferentes que convergen hacia esta misma solución tecnológica: un mejor aprovechamiento de la irradiación solar, refrigeración del laminado FV para mejora de su eficiencia y optimización de espacio en cubierta [2]. Analizando con mayor profundidad el primer concepto del que parte la tecnología híbrida, de toda la irradiación incidente se estima que un 5% es reflejado, en torno a un 20% es convertido en electricidad y el 75% restante, es disipado al ambiente en forma de calor [3]. Este calor que, en un módulo fotovoltaico es disipado al ambiente, puede ser aprovechado para otras aplicaciones mediante diferentes sistemas de intercambio de calor, fluidos, geometrías, etc.

La tecnología híbrida presenta importantes ventajas como: reducción de la superficie necesaria para generar la misma energía que paneles térmicos y fotovoltaicos por separado, mejora del rendimiento FV, tecnología limpia, disminución de ruidos, reducción de las emisiones por m² frente a otras tecnologías solares por separado, bajo mantenimiento, etc [4], [5]. Sin embargo, también presenta ciertas desventajas que tienen que ser resueltas, como la refrigeración no uniforme del módulo fotovoltaico, tecnología incipiente (y por tanto necesita un periodo de maduración) o los costes de instalación elevados. Otras cosas que se podrían mejorar es su integración arquitectónica o la fiabilidad de sus cálculos, ya que un mal dimensionamiento o mantenimiento puede tener problemas de sobrecalentamiento en los meses de verano en climas cálidos.

A continuación, en el trabajo se expondrán diferentes soluciones de paneles híbridos desde los más eficientes hasta los más rentables, permitiendo dar una solución real, sostenible y de calidad para alcanzar los edificios cero emisiones con ayuda de la energía solar, aprovechando al máximo el espacio disponible en cubierta.

1.2 Tipos de paneles solares híbridos

Dentro de las diferentes tipologías existentes, los más extendidos por su eficiencia son los refrigerados por agua, PVT/w. Según sus aislamientos posterior y frontal, se pueden clasificar en tres grupos (ver Figura 1):

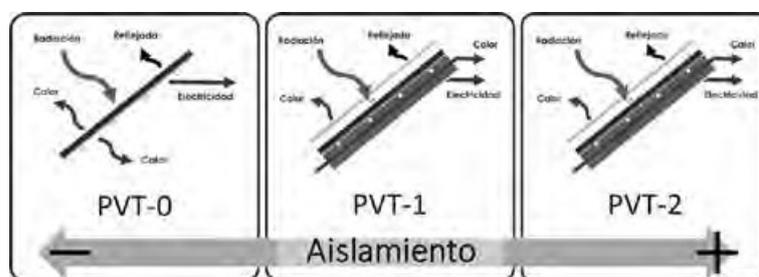


Figura 1: Tipología de paneles refrigerados por agua, PVT/w, según el nivel de aislamiento.

- PVT-0: corresponde a un módulo fotovoltaico al cual se le adosa un recuperador de calor que no está aislado térmicamente del ambiente por su cara posterior. Este diseño está concebido para refrigerar al máximo las células fotovoltaicas no siendo interesante el calor recuperado. Su temperatura de estancamiento no suele superar los 70°C. El objetivo de este modelo es maximizar la generación eléctrica mediante la refrigeración de las células. Un ejemplo de este modelo serían los módulos termodinámicos híbridos, aunque en este caso, en vez de ser refrigerados por agua, lo hace mediante un refrigerante (como un ciclo de bomba de calor).
- PVT-1: corresponde a los paneles híbridos que tienen adosado un recuperador de calor por la cara posterior y a su vez está aislado térmicamente del ambiente. Su objetivo es reducir las pérdidas de calor por la parte trasera del panel, aprovechando parte de calor pero para aplicaciones de baja temperatura. Se instala generalmente en climas cálidos y donde interese maximizar la generación eléctrica. Su temperatura de estancamiento ronda los 85°C.
- PVT-2: corresponde con un PVT-1 al cual se le adosa una cubierta que aísla térmicamente el panel también por la cara frontal. Esta cubierta tiene doble objetivo: evitar las pérdidas de calor al ambiente que tiene el panel por esta cara y ser lo más transparente posible, para evitar también las pérdidas por reflexión. Como resultado, el calor que no es disipado al ambiente es transferido al fluido que circula por el interior del recuperador, aumentando el rendimiento térmico del panel y la energía generada por unidad de superficie. Dicha cubierta frontal, normalmente denominada cubierta transparente aislante (CTA), puede tener diferentes características de las cuales destacan 4 tipologías: CTA-Aire, CTA-TIM (*Transparent Insulating Material*), CTA-Va-

cío y CTA-GN (Gas neutro). Para evitar el sobrecalentamiento del panel, se aumenta el caudal de diseño adecuándolo al rango de temperaturas en el que se desea trabajar. Al reducir las pérdidas de calor por ambas caras, la temperatura de estancamiento sube considerablemente, hasta alcanzar los 150°C, resultando un panel con una alta eficiencia térmica

2. DESARROLLO/METODOLOGÍA

En este trabajo se presenta un estudio comparativo en el que se analizan la eficiencia y viabilidad económica resultante de la aplicación de distintos tipos paneles híbridos a tres casos básicos en edificación: hotel, vivienda unifamiliar y polideportivo.

2.1 Características de los paneles híbridos

Puesto que la elección del tipo de panel híbrido viene supeditada a demanda energética de la instalación final, se ha planteado en este trabajo un análisis de tres demandas energéticas tipo dentro del ámbito de la edificación, como son: hotel de 4 estrellas, vivienda unifamiliar y polideportivo. Para cada uno de los casos se plantea la instalación de un tipo de panel híbrido: PVT-0, PVT-1 y PVT-2.

Las características térmicas de un panel híbrido vienen generalmente determinadas por tres coeficientes: el rendimiento óptico (η_0) y dos coeficientes asociados a las pérdidas (a_1 , a_2). El valor de estos coeficientes se puede obtener experimentalmente y vienen condicionados por el grado de absorción del panel, la disposición de los elementos dentro del panel y muy fundamentalmente por el material y configuración del recuperador de calor. Estos coeficientes condicionan directamente la eficiencia térmica del módulo, que se define como indica la Ec. 1 en función de ellos, de la radiación solar (G) y de las temperaturas media del pane (v_m) y ambiental (v_a).

$$\eta_{hem} = \eta_0 - a_1 \frac{v_m - v_a}{G} - a_2 G \left(\frac{v_m - v_a}{G} \right)^2 \quad (1)$$

Para este estudio se han considerado 3 paneles comerciales, cuyos coeficientes térmicos y principales características vienen recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1: Principales características térmicas de los paneles utilizados para el estudio.

Parámetros		PVT-0	PVT-1	PVT-2
η_0	[-]	0.34	0.513	0.51
a_1	[W/m ² k]	7.54	7.68	4.93
a_2	[W/m ² k ²]	0.37	0.014	0.021
Modelo		Solar Energy SEB 3	AnafSolar H-NRG	ECOMESH
Material absorbedor		Aluminio	Aluminio	Cobre
Configuración abs.		Lámina-tubo	Roll-bond	Lámina-tubo
Potencia (W)		275 W	230 W	265 W
Peso (kg)		-	34 kg	45 kg

El modelo de panel PVT-0 utilizado pertenece a la marca comercial Solar Energy Booster, modelo SEB 3, y está certificado a nivel europeo bajo la acreditación KIWA. Este panel se compone de un laminado FV de células monocristalinas, con una potencia pico máxima de 275 W, a la que adhiere una lámina de aluminio con un tubo de aluminio con forma de meandro de 8mm de diámetro por donde circula el fluido refrigerante. Este modelo no incluye aislamiento trasero ni cubierta frontal, sino que se enmarca en unos perfiles laterales de aluminio y se cierra posteriormente con una trasera básica de aluminio que protege el panel de la suciedad.

El modelo PVT-1 pertenece a la casa comercial AnafSolar, modelo de panel H-NRG. Se trata de un modelo de primera generación con células policristalinas de 230 W de potencia pico. Al laminado FV se le une por la cara posterior un absorbedor de aluminio de tipo roll-bond, con un gran número de canales dibujados sobre la lámina por donde discurre el fluido. Este tipo de panel incorpora una capa de aislamiento posterior que reduce las pérdidas de calor por esa cara.

El modelo PVT-2 se corresponde con el modelo ECOMESH, cuyas características térmicas y eléctricas han sido testeadas por CENER. Este panel está formado por un laminado de células policristalinas con una potencia pico de 265 W, unido mediante una capa de adhesivo EVA a un absorbedor de cobre, compuesto de una lámina y una parrilla vertical de tubos de cobre de 8 mm de diámetro. Por la parte posterior, el panel se completa con una capa de lana de roca de 6 cm mientras que la parte frontal incorpora una CTA-GN con argón como gas circulante en la cámara, inyectado con una tecnología patentada por EndeF.

Las características de estos tres paneles han servido de base para los cálculos de consumos y abastecimientos energéticos de los casos de aplicación que a continuación se exponen.

2.2 Casos de aplicación

Los tres casos de aplicación se corresponden con tres demandas energéticas tipo dentro del ámbito de la edificación, como son: hotel, vivienda unifamiliar y centro polideportivo. Como lugar de referencia para las edificaciones se ha elegido la ciudad de Zaragoza, perteneciente a la zona climática D3 y con un valor de irradiación total en horas solares pico de 1745. La distribución de radiación y temperaturas de esta ciudad a lo largo del año se recoge en la Figura 3.

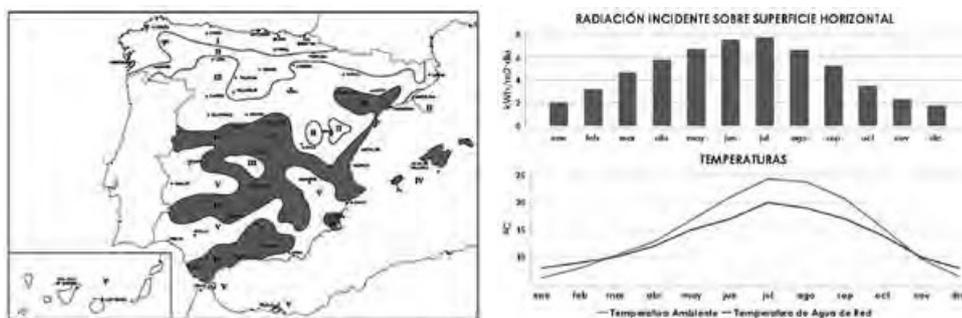


Figura 3: Condiciones meteorológicas de la ciudad de Zaragoza, localización establecida para los tres casos.

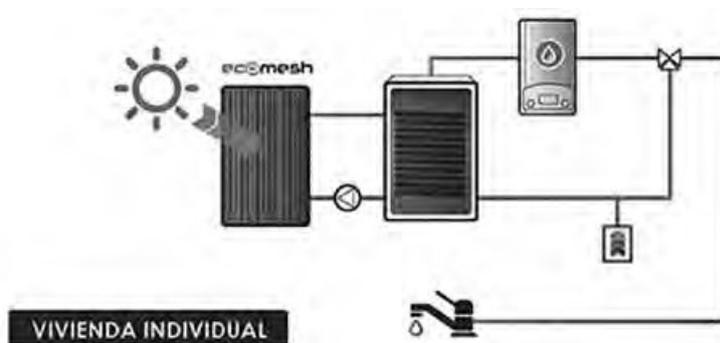


Figura 4: Esquema hidráulico general considerado en los casos de aplicación.

El esquema hidráulico considerado para los tres casos se muestra en la Figura 4, y se corresponde con un sistema solar térmico simplificado para producción de ACS con acumulador solar con intercambiador interno con apoyo de sistema auxiliar, en este caso concreto caldera de gas. El volumen del tanque de acumulación supuesto en cada uno de los casos se ajustará en función del número de placas, ya que su relación viene delimitada por el CTE.

El cálculo y dimensionamiento de los diferentes sistemas aquí planteados se han llevado a cabo mediante un software de simulación desarrollado por Endef, llamado ECOMESH software, que permite obtener datos de consumos y demandas térmicas a partir del número de usuarios, tipo de edificación y localización de la misma, y calcular la producción tanto eléctrica como térmica de una instalación solar híbrida. Los resultados han sido contrastados con la herramienta de simulación dinámica TRANSOL, que sirve de motor de cálculo a la herramienta de dimensionado proporcionada por el ministerio CHEQ4 para asegurar el cumplimiento del CTE en las instalaciones solares.

La descripción de los tres casos de aplicación se detalla a continuación.

*Caso 1: Hotel*****

En el caso de estudio tipo hotel se ha elegido un hotel de 4 estrellas situado en Zaragoza, cuyo consumo medio diario por persona se establece en 55 l, según la tabla 4.1 del DB HE4 del CTE [6]. El tamaño del hotel se ha establecido a partir de su número de usuarios, fijado en un máximo de 80, al que se le ha supuesto un nivel de ocupación media de 50%, acorde con los datos proporcionados por el Instituto de Estadística como media nacional en 2016 [7]. La producción eléctrica generada de los paneles híbridos instalados se considera un aporte adicional de la instalación pero no contribuye a incrementar el porcentaje de abastecimiento recogido en el CTE. Teniendo en cuenta el alto consumo asignado por usuario en este tipo de edificios, se ha propuesto para el cálculo abastecer la demanda energética con la configuración de paneles híbridos que más eficiencia térmica presentan, es decir, los de segunda generación o PVT-2.

Caso 2: Vivienda unifamiliar

En el caso de estudio correspondiente a vivienda se ha supuesto una vivienda unifamiliar, de 3 dormitorios y 4 usuarios, con un consumo medio de 28 l por persona y día, según se indica en el CTE. En este caso, al tener un consumo unitario por usuario menor que en el caso del hotel, se ha propuesto el uso de placas híbridas de primera generación o PVT-1.

Caso 3: Centro polideportivo

El último caso planteado ha sido otro edificio del sector terciario, pero enfocado a ocio en vez de uso habitable. Concretamente, se plantea un centro deportivo de 200 usuarios con un consumo de agua caliente sanitaria de 21 l/persona y día. Para el dimensionamiento de la instalación se ha supuesto un nivel de ocupación media de 70% y el objetivo de cubrir parcialmente el consumo de ACS para duchas y vestuarios. Este tipo de centros cuenta con una ventaja clave en términos de abastecimiento con sistemas solares, y es que presentan un perfil de demanda diario por lo que la energía generada en los paneles puede ser consumida directamente sin necesidad de acumulación. Aunque los dispositivos de acumulación deban instalarse igualmente, sí se reducen las pérdidas asociadas a la acumulación. Dado el menor consumo diario por persona y la reducción de pérdidas de acumulación, para el abastecimiento de este centro polideportivo se ha propuesto el uso de placas de generación cero o PVT-0.

El dimensionamiento de las instalaciones se ha llevado a cabo bajo la premisa de abastecer un mínimo del 60% de la demanda térmica generada en cada edificación, según lo establecido en la normativa española vigente para nuevas edificaciones, DB HE. Sin embargo, además de la exigencia establecida a nivel nacional hay que tener en cuenta las ordenanzas municipales que rigen en cada localización, ya que en algunos casos pueden ser más restrictivas que la normativa estatal. Es por ello que aquí se plantea también el cumplimiento de la Ordenanza municipal de Zaragoza [8]. En todos los casos planteados la electricidad generada se consumiría en régimen de autoconsumo. En los dos primeros casos, al no superar los 10 kW instalados, no sería necesario considerar el impuesto al sol. Puesto que se trata de casos teóricos y no se cuenta con planos de las instalaciones, no se ha tenido en cuenta restricciones de espacio que comúnmente se dan en las cubiertas de ciertos edificios. Sin embargo, la colocación de placas híbridas en vez de las comunes fotovoltaicas o térmicas garantiza que el aprovechamiento energético de la superficie hábil será máximo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los principales resultados obtenidos relativos a los tres casos de estudio, donde se han calculado los valores mensuales y media anual de demandas, producciones térmicas y eléctricas o cobertura solar térmica entre otros.

En el caso del hotel de sector terciario, se necesitan un total de 40 paneles híbridos del modelo ECOMESH, para abastecer el 60% de las demandas térmicas generadas en el edificio bajo los supuestos arriba mencionados. Las 40 placas conllevan una superficie total de captación de 65.6 m². El volumen del tanque de acumulación se ha fijado en 5000l, lo que garantiza el correcto cumplimiento del CTE.

Tabla 2: Tabla resumen del caso 1: 40 paneles híbridos PVT-2 en hotel****.

[kWh]	Enc.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Demanda térmica	4.125	3.654	3.966	3.685	3.569	3.301	3.173	3.252	3.301	3.649	3.838	4.125	43.638
Producción térmica	1.949	2.264	2.843	2.732	2.774	2.641	2.538	2.602	2.641	2.418	2.058	1.736	29.196
Cobertura solar térm.	47%	62%	72%	74%	78%	80%	80%	80%	80%	66%	54%	42%	67%
Producción eléctrica	708	850	1.150	1.139	1.298	1.373	1.434	1.378	1.258	948	719	676	12.931
Ahorro CO ₂	11.450 kgCO ₂ / año						286 kgCO ₂ / año panel						
Ahorro €	4.318 € / año						108 € / año panel						
Inversión	Total: 52.000 €						1.300€/panel						

Para cubrir las demandas de ACS generadas en una vivienda unifamiliar de 3 dormitorios, se han calculado 2 paneles solares híbridos de primera generación. Con ello, aseguramos cubrir el 63% de la demanda térmica calculada, con un ahorro anual por panel de 106 € y una disminución en las emisiones de CO₂ de 279 Kg. El área total de captación de las 2 placas asciende a 3.3 m², por lo que el tanque de acumulación supuesto ha sido de 300l, lo que garantiza el correcto cumplimiento del CTE.

Tabla 3: Tabla resumen del caso 2: 2 paneles híbridos PVT-1 en vivienda unifamiliar.

[kWh]	Enc.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Demanda térmica	210	186	202	188	182	165	162	166	168	186	195	210	2.223
Producción térmica	90	107	136	130	132	130	130	133	126	114	96	79	1.403
Cobertura solar térm.	43%	58%	67%	69%	73%	77%	80%	80%	75%	62%	49%	38%	63%
Producción eléctrica	35	43	57	57	65	69	72	69	63	47	56	34	647
Ahorro kCO ₂	558 kgCO ₂ / año						279 kgCO ₂ / año panel						
Ahorro €	211 € / año						106 € / año panel						
Inversión	Total: 3.500 €						1.750 € /panel						

En el caso del polideportivo, dadas las características térmicas del panel de generación cero (PVT-0) frente al de primera o segunda generación que reducen las pérdidas, aumenta sobremanera el número de paneles a instalar para cumplir con el porcentaje mínimo exigido en el CTE. Aunque los valores de demanda sean similares a los del hotel, se han necesitado el doble de paneles, 80, para poder cumplir con la normal. La superficie total de captación asciende a 130.4 m², por lo que se ha supuesto un volumen de acumulación de 8000l.

Tabla 4: Tabla resumen del caso 3: 80 paneles híbridos PVT-0 en centro polideportivo.

[kWh]	Enc.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Demanda térmica	5.512	4.883	5.300	4.924	4.770	4.411	4.240	4.346	4.411	4.876	5.129	5.512	58.314
Producción térmica	2.115	2.587	3.322	3.184	3.220	3.178	3.242	3.230	3.084	2.745	2.282	1.834	34.025
Cobertura solar térm.	38%	53%	63%	65%	68%	72%	76%	74%	70%	56%	44%	33%	60%
Producción eléctrica	1.415	1.700	2.299	2.278	2.595	2.747	2.868	2.756	2.517	1.895	1.430	1.352	25.863
Ahorro kCO ₂	16.366 kCO ₂ / año						205 kCO ₂ / panel						
Ahorro €	6.474 € / año						81 € / panel						
Inversión	Total: 92.000 €						1.150 € /panel						

Al comparar los tres casos de estudio, se observa que el ahorro estimado por panel se reduce al disminuir la eficiencia térmica del panel, que a su vez condiciona la eficiencia total del panel. Esa disminución también afecta a la cantidad de emisiones de CO₂ evitadas por cada panel. Por otro lado, la inversión por panel depende no tanto del tipo de panel si no del tamaño total de la instalación, por lo que para instalaciones pequeñas (Caso 2) el coste por panel es muy superior al de instalaciones mayores (Casos 1 y 3).

La comparación directa de los tres casos de aplicación se ha realizado bajo la normativa de ámbito común en todo el país, el CTE. Sin embargo, como se ha comentado, la aplicación vigente en Zaragoza obliga al cumplimiento de lo expuesto en la Ordenanza municipal, que conlleva cubrir el 70% de la demanda de ACS en nuevas construcciones. Bajo esta premisa se han redimensionado las instalaciones de los casos de aplicación, dando como resultado el número de paneles expuesto en la Tabla 5.

Por otro lado, si se asume que uno de los objetivos principales de dicha ordenanza es el de reducir la cantidad total de emisiones de gases contaminantes por medio de la implanta-

ción de energías renovables, como es en este caso con la incorporación de paneles solares, se puede hacer una segunda interpretación de la norma de forma que la medida de cumplimiento sea la cantidad total de CO₂ evitado a la atmósfera. De esta manera, el objetivo sería cubrir el ahorro de emisiones de CO₂ correspondientes a la generación de la parte térmica, en el caso de que se cubriese el 70% de esa demanda con paneles híbridos. Por tanto, del ahorro total de emisiones propuesto en la Tabla 5 para los 3 casos cubriendo el 70% de la demanda térmica de cada uno, se ha calculado la cantidad correspondiente a la producción térmica del panel, sin considerar la eléctrica, y se han redimensionado las instalaciones con el objeto de cubrir dicha cantidad pero con el aporte esta vez de la doble generación de los paneles.

Tabla 5: Comparativa de tamaño de instalación según normativa aplicada.

		DB HE - CTE	Ordenanza municipal % (ZgZ)	Ordenanza municipal CO ₂ (ZgZ)
Requisitos generales		60% demanda térmica	70% demanda térmica	Igualar emisiones parte térmica
Caso 1	Nº Paneles	40	45	27
	Ahorro Emisiones	11.450 kgCO ₂ / año	12.261 kgCO ₂ / año	8.261 kgCO ₂ / año
Caso 2	Nº Paneles	2	3	2
	Ahorro Emisiones	558 kgCO ₂ / año	706 kgCO ₂ / año	558 kgCO ₂ / año
Caso 3	Nº Paneles	80	120	50
	Ahorro Emisiones	16.366 kgCO ₂ / año	21.754 kgCO ₂ / año	11.194 kgCO ₂ / año

Como consecuencia de considerar las emisiones evitadas no sólo por la parte térmica sino también por la generación eléctrica, se consigue disminuir notablemente el tamaño necesario de instalación para cumplir con los requisitos de lo estipulado en la Ordenanza Municipal de Zaragoza. Esa variación es mayor en el caso del PVT-0, donde la contribución de la parte térmica en la generación total de energía del panel es menor que en los casos con más nivel de aislante y por tanto la consideración de la parte eléctrica varía de forma notoria el número de paneles a instalar.

4. CONCLUSIONES

El endurecimiento de las normas vigentes relativas al consumo energético en nuevas construcciones obliga a aumentar la presencia de energía renovable en este sector. Dentro de este marco, la implementación de energía solar como medio de producción de energía limpia in-situ en un país como España, con alta cobertura solar, se plantea como una solución prometedora. En aquellos casos donde haya limitación de espacio en cubiertas se propone la utilización de placas solares híbridas, que producen más energía por m² de captación, ya que son capaces de generar energía eléctrica y térmica en un mismo panel. El tipo de panel híbrido óptimo a utilizar dependerá de los requerimientos energéticos de la edificación, eligiendo si se quiere potenciar la generación eléctrica (PVT-0) o térmica (PVT-2) del panel. En ambos casos, la instalación de paneles solares híbridos puede contribuir de manera decisoria en el cumplimiento del CTE y de las ordenanzas municipales que imperen en cada caso, ya que en algunos casos son más restrictivas que el propio código técnico. El uso de paneles híbridos es muy recomendable en casos con limitaciones de espacio en cubierta y permite cumplir normativas referentes a la reducción de emisiones de CO₂, consiguiendo así avanzar hacia el objetivo de construcción de edificios cero emisiones.

5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CTA	Cubierta Transparente y Aislante
PVT	Panel solar híbrido (del inglés: Photovoltaic/Thermal)
PVT/w	Panel híbrido refrigerado con agua
TIM	CTA (del inglés: Transparent Insulation Cover)
η_0	Coefficiente de rendimiento óptico [-]
a_1	Coefficiente de pérdidas [W/m ² k]
a_2	Coefficiente de pérdidas [W/m ² k ²]

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Martin Wolf, "Performance analyses of combined heating and photovoltaic power systems for residences," *Energy Convers.*, vol. 16, no. 1–2, pp. 70–90, 1976.
- [2] J. J. Michael, I. S. and R. Goic, "Flat plate solar photovoltaic-thermal (PV/T) systems: A reference guide," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 62–88, 2015.
- [3] B. Parida, S. Iniyar, and R. Goic, "A review of solar photovoltaic technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 3, pp. 1625–1636, 2011.
- [4] A. del Amo, A. Martínez-gracia, A. A. Bayod-rújula, and J. Antoñanzas, "An innovative urban energy system constituted by a photovoltaic/thermal hybrid solar installation: Design, simulation and monitoring," *Appl. Energy*, vol. 186, pp. 140–151, 2017.
- [5] M. Zapater Herrando, "Analysis of solar hybrid PV- Thermal (PVT) systems for heat and power supply in buildings," Universidad de Zaragoza, 2017.
- [6] Ministerio de Fomento, *Documento Básico de Ahorro de Energía HE. Código Técnico de Edificación*. Gobierno de España, 2017, pp. 1–129.
- [7] Instituto Aragonés de Estadística, "Informe mensual sobre ocupación hotelera, viajeros, pernотaciones, estancia media, grado de ocupación por plazas y personal empleado en España, Aragón, Huesca, Teruel, Zaragoza, Zaragoza capital y Pirineo aragonés.," Zaragoza, 2017.
- [8] Ayuntamiento de Zaragoza, *Ordenanza Municipal de ecoeficiencia energética y utilización de energías renovables en los edificios y sus instalaciones*. España: Diputación Provincial de Zaragoza, 2009.