

Trabajo Fin de Máster

“Estudio de la hibridación de paneles fotovoltaicos con colectores solares para el consumo de electricidad y agua caliente sanitaria”

“Study of hybridization of photovoltaic panels with solar collectors for electricity and domestic hot water consumption”

Autor:

Juan Miguel Pastor Losada

Director:

Cristóbal Cortés Gracia

Titulación del autor:

Máster en Ingeniería Industrial

Escuela de Ingeniería y arquitectura

2023/2024

Resumen

El siguiente trabajo de fin de máster tiene la finalidad de realizar un estudio sobre la hibridación de paneles fotovoltaicos con colectores solares para la producción de electricidad y agua caliente sanitaria. Ver y explicar cómo funcionan y realizar una simulación realista mediante el software “Trnsys Studio”

En primer lugar, se explica y detalla el funcionamiento y características de estos paneles híbridos descomponiendo sus partes, así como los posibles sistemas de conexionado hidráulicos que existen. Lo que conlleva a su vez conocer y explicar todas las partes que componen la instalación: bomba de calor, paneles, tuberías, bombas y consumos entre otras partes de la instalación.

Por último, se procede a la simulación de una instalación híbrida en un Hotel ubicado en la provincia y ciudad de Zaragoza. En esta simulación se introducen todos los parámetros necesarios para ser lo más realista posible con la instalación. Una vez obtenidos los resultados se analizan y explican todos los valores obtenidos.

Índice

Índice	4
Índice de ilustraciones.....	5
Índice de tablas	6
Índice de ecuaciones.....	6
Capítulo 1. Introducción y metodología.	7
1.1 Contexto.....	7
1.2 Metodología y herramientas utilizadas.....	9
Capítulo 2. Descripción del panel híbrido y características	10
Capítulo 3. Tipos de configuración hidráulica.	16
PVT + BdC_aw en serie	17
PVT + BdC_aw en paralelo	17
PVT + BdC_ww con circuito abierto	18
PVT + BdC_ww con circuito cerrado	19
Capítulo 4. Aplicación real de panel híbrido a un hotel mediante simulación con Trnsys.	20
4.1 Módulos utilizados y procedimiento.....	20
4.2 Resultados de la simulación.....	22
4.3 Energía producida	23
4.4 Cobertura solar térmica y eléctrica.	24
4.5 Porcentaje de cobertura solar sobre la irradiación del panel y total.....	25
4.6 Presupuesto para 70 paneles.....	25
4.7 Coste por unidad de energía “ <i>Levelized Cost of Energy and Heat</i> ”	27
4.8 Resultados de las temperaturas del tanque 1.....	28
4.9 Emisiones de CO2 evitadas.....	29
Capítulo 5. Conclusiones.	31
5.1 Superioridad en la eficiencia energética y cobertura solar.	31
5.2 Beneficios del calentamiento de la bomba de calor frente a caldera convencional	32
5.3 Impacto ambiental positivo, reducción de CO2 y rentabilidad económica	32
5.4 Innovación tecnológica, desafíos y perspectivas futuras	33
ANEXOS.	34
Anexo I. Programa y gráficas obtenidas del programa.....	34
I.I Gráfica Temperatura [°C]	35
I.II Gráfica energías [kW] y potencias [kWh]	36
Anexo II. Ficha técnica del módulo fotovoltaico.....	37
Bibliografía.....	39

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Esquema del panel solar híbrido. [1] y [Elaboración propia]	8
Ilustración 2: Balance energético de un panel solar estándar [1].....	10
Ilustración 3: Balance energético del panel híbrido [1]	11
Ilustración 4: Sección panel híbrido [1]	11
Ilustración 5: Tecnología PERC [8]	13
Ilustración 6: Tamaño celda M2 [elaboración propia]	14
Ilustración 7: Comparativa de 5BB y 12BB [9].....	14
Ilustración 8: Curva de rendimiento [1] [7].....	15
Ilustración 9: Esquemas hidráulicos de las 4 configuraciones posibles [1]	16
Ilustración 10: Panel híbrido + bomba de calor arie - agua en serie [13]	17
Ilustración 11: Panel híbrido + bomba de calor aire – agua en paralelo [13].....	18
Ilustración 12: Panel híbrido + bomba de calor agua - agua cto. Abierto [13].....	18
Ilustración 13: Panel híbrido + bomba de calor agua - agua cto. cerrado [13]	19
Ilustración 14: Esquema y disposición de la simulación [Elaboración propia]	20
Ilustración 15: Bomba de calor Keyter [3]	21
Ilustración 16 Porcentaje de energía anual [Elaboración propia].....	23
Ilustración 17 Energía producida mensualmente: PV+ Térmica + Total [Elaboración propia] ...	24
Ilustración 18: Porcentaje de la inversión total [Elaboración propia]	26
Ilustración 19 Resultados de la temperatura interior del tanque 1 [Resultados del programa] .	28
Ilustración 20: Esquema de la simulación.....	34
Ilustración 21: Ampliación del esquema.....	34
Ilustración 22: Resultados de la simulación: Temperaturas [Resultado simulación]	35
Ilustración 23: Resultados de la simulación: potencia y energía [Resultado simulación].....	36
Ilustración 24: Hoja 1/2 de la ficha técnica [7]	37
Ilustración 25: Hoja 2/2 de la ficha técnica [7]	38

Índice de tablas

Tabla 1: Especificaciones térmicas del panel	12
Tabla 2: Especificaciones fotovoltaicas del panel	13
Tabla 3: Especificaciones generales del panel.....	15
Tabla 4: Especificaciones del panel.....	21
Tabla 5: Resultados de la simulación	22
Tabla 6: Energía producida PV, Térmica y Total	23
Tabla 7: Porcentaje de cobertura solar sobre irradiación del panel	25
Tabla 8: Desglose de presupuesto de la instalación	26
Tabla 9: Levelized Cost of Energy and Heat	27
Tabla 10: Equivalencia de hora del año al día y hora del día	29
Tabla 11: Resumen de consumos y producción	31
Tabla 12: Cobertura solar térmica y balance eléctrico	31

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Eficiencia colector Solar	12
Ecuación 2: Cobertura solar térmica.....	24
Ecuación 3: Balance eléctrico anual.....	24
Ecuación 4: Cobertura Solar PV.....	25
Ecuación 5: Cobertura Solar Térmica	25
Ecuación 6: Cobertura Solar Total Anual	25
Ecuación 7: Levelized Cost of Heat	27
Ecuación 8: Levelized Cost of Energy	27
Ecuación 9: Levelized Cost of Total Energy.....	27
Ecuación 10: Aproximación de CO2 ahorrado	30

Memoria

Capítulo 1. Introducción y metodología.

1.1 Contexto.

La producción de energía eléctrica mediante panel fotovoltaico está siendo utilizada hoy en día tanto por grandes empresas como por particulares para la producción de energía eléctrica. Desde grandes centrales de varias decenas de megavatios hasta estaciones aisladas para autoconsumo en viviendas de unos pocos kilovatios. En el uso de viviendas tanto unifamiliares o bloques de edificios, se están instalando cada vez más esta tecnología: utilizar la radiación solar para la producción de energía. Además, la radiación solar también es utilizada para la producción de agua caliente mediante colectores térmicos que se pueden instalar en estas cubiertas de los edificios, pudiendo calentar el agua en momentos de radiación solar y almacenarla en tanques para poder ser utilizada en horas donde no dispongamos de esa radiación solar, en conjunto con sistemas auxiliares para calentar esta agua.

En el entorno normativo, más concretamente en el código técnico de la edificación, se definen las exigencias básicas de ahorro de energía. Todo esto, enmarcado en el “Plan Nacional Integrado de Energía y Clima – PNIEC 2021 – 2030” por real decreto 178/2021 [10]. El cual marca la hoja de ruta y desarrollo de vectores estratégicos encaminados a:

- Reducción de emisiones de gases invernadero
- Aumento del uso de energías renovables con respecto al consumo final
- Mejora de la eficiencia energética
- Utilización de energías renovables en la generación eléctrica.
- Electrificación como vector principal para la descarbonización

Así pues, algunos puntos destacables dentro del código técnico de la edificación es el DB-HE, Documento Básico de Ahorro de Energía [12], donde se especifica parámetros, objetivos y procedimientos para asegurar la satisfacción de las exigencias básicas para el ahorro de energía. Algunos de los puntos que más están relacionados con el trabajo de forma resumida son los siguientes:

DB-HE0: Limitación del consumo energético de los edificios se limitará en función de la zona climática, así como de su ubicación y uso del edificio. Tratando de que el consumo energético se satisfaga en gran medida mediante energías de fuentes renovables.

DB-HE2: Condiciones de las instalaciones térmicas y de eficiencia en la generación de calor y frío, por ejemplo, en la recuperación de calor del aire de extracción, reglamentos de ecodiseño y el uso de energías renovables y residuales.

DB-HE4: Contribución mínima de energía renovable para cubrir parte de la demanda de ACS para edificios de nueva construcción con una demanda superior a 100 l/d, ampliaciones o

intervenciones en edificios existentes con demandas superiores 5.000 l/día que incremente la demanda en un 50% y para las climatizaciones de piscinas. Podrá sustituirse la contribución de energía mínima renovable por energías residuales subproductos de otro proceso principal como equipos de refrigeración, combustión, etcétera.

- Para ACS < 5.000 l/día -> 60% Renovables y SCOP > 2.5
- Para ACS > 5.000 l/día -> 70% Renovables y SCOP > 3.3

DB-HE5: Generación mínima de energía eléctrica procedente de fuentes de energías renovables. Mediante sistemas de generación eléctrica para su propio uso o suministro en red.

Es por esto, por lo que en este trabajo de fin de máster se ha realizado un estudio para los paneles híbridos de la empresa Abora Solar el cual es capaz de hibridar estas dos tecnologías: producción eléctrica fotovoltaica y producción de agua caliente aumentando así su eficiencia y reduciendo las emisiones de CO₂. Además del estudio de estas dos tecnologías, también se explica el uso de los equipos adicionales utilizados, así como algunos esquemas hidráulicos. El uso de estos paneles híbridos debe contar, como es lógico, con uno o más sistemas de almacenamiento de agua caliente sanitaria, así como de equipos auxiliares de calentamiento como bombas de calor, para en caso de falta de radiación solar se disponga de un equipo capaz de administrar agua caliente sanitaria al edificio.

A lo largo de este trabajo se explica y detalla las características de estos paneles y se estudia así su implantación en un caso real para 4 configuraciones diferentes en función de si están en serie, paralelo, con circuito abierto o con circuito cerrado. En este estudio las configuraciones han sido simuladas mediante el programa informático “Trnsys Simulation Studio [12]” tal y como se verá más adelante.

En la imagen inferior, se puede ver un esquema de como estaría conformada la placa. Contando principalmente de dos partes: la parte fotovoltaica y la parte térmica. La parte fotovoltaica está formada por células fotovoltaicas para la generación de electricidad mientras que la parte térmica está formada por una entrada y una salida de agua y, en su interior, una distribución de tubos en paralelo para la generación de agua caliente. Ambos procesos serán explicados con mayor detalle más adelante.

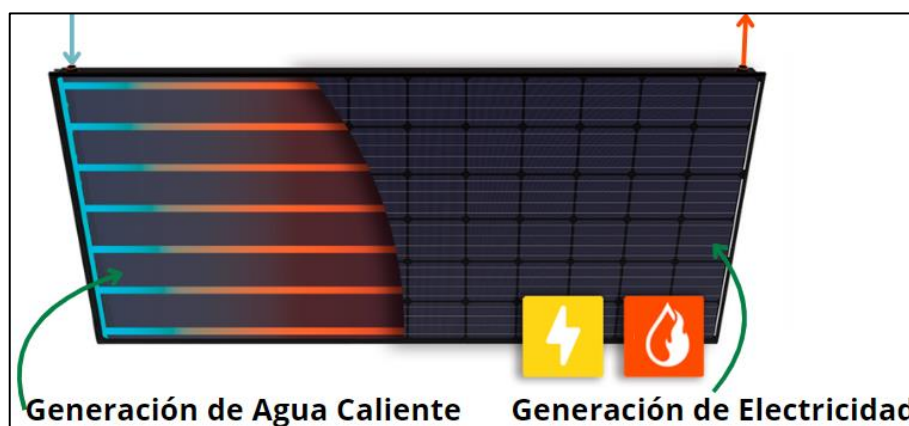


Ilustración 1: Esquema del panel solar híbrido. [1] y [Elaboración propia]

1.2 Metodología y herramientas utilizadas.

Como se ha comentado antes, este estudio ha sido en colaboración con Abora Solar, la empresa fabricante de estos paneles. Con la cual se ha podido colaborar para utilizar sus paneles solares y poder realizar un estudio de estos. La metodología y procedimiento ha sido el siguiente.

- Estudio de los paneles fotovoltaicos mixtos realizando visitas a la fábrica y estudiando sus especificaciones técnicas. De esta manera se ha podido conocer y explicar el uso de estos paneles, así como la importancia de la generación mixta y el aumento de sus niveles de eficiencia.
- Una vez conocido el panel, se procede a estudiar las diferentes disposiciones que puede colocarse el esquema hidráulico de los paneles para la generación de ACS y electricidad, es decir, los tipos de configuración hidráulica del panel y del resto de equipos necesarios para realizar la instalación final
- Para poder conocer mejor esta tecnología se han realizado una serie de simulaciones mediante el programa informático de simulación *Trnsys Studio* [12]. Para esta simulación, se ha escogido un tipo de esquema hidráulico que se verá explicado más adelante y se ha escogido un estudio real para un Hotel de 4 estrellas y 200 camas.
- Finalmente, se han realizado una serie de conclusiones donde se abordan todos los resultados obtenidos de las simulaciones con sus correspondientes comparativas. Así como las proyecciones futuras y mejoras posibles en esta tecnología.

Capítulo 2. Descripción del panel híbrido y características

Abora Solar, dispone de la fabricación de paneles solares híbridos que combinan la tecnología de producción eléctrica con la producción de agua caliente, siendo el panel solar “más eficiente y rentable del mundo” gracias a que aprovecha la doble producción de energía solar. Consiguiendo eficiencia de hasta el 89% con un panel fabricado íntegramente en España. Gracias a esta tecnología mixta se consigue que el panel solar genere mucha más energía por m² aprovechando al máximo la cubierta del edificio [1]

Hay momentos del año como en julio donde las horas de luz y el calor son más frecuentes aumentando así las temperaturas. Se podría llegar pensar que durante una ola de calor o durante una sesión con unas temperaturas altas las placas fotovoltaicas van a aumentar su rendimiento, pero no es así. Un módulo fotovoltaico es más eficiente a temperaturas más bajas, y a medida que la temperatura del panel aumenta, la eficiencia de la conversión de luz solar a electricidad disminuye. Esto se debe al aumento de la temperatura reduce la tensión de salida del panel, lo que afecta a la producción de energía. Sin embargo, gracias a la hibridación de los paneles con electricidad y agua caliente vamos a poder aprovechar ese aumento de la temperatura del panel para calentar agua mediante el colecto solar. De esta manera, la eficiencia del panel híbrido será mucho mayor ya que la energía que antes se perdía en forma de calor en un módulo convencional es aprovechada para calentar agua.

Un panel solar convencional aprovecha como máximo un 20% de la energía solar, perdiendo el otro 80% de la energía por reflexión de los rayos solares y por pérdidas de calor. Del 100% de la radiación que incide sobre el panel un 5% se ve refleja, un 75% se pierde en forma de calor y el otro 20% restante es aprovechado para generar electricidad. Tal y como se muestra en la ilustración inferior. [1]

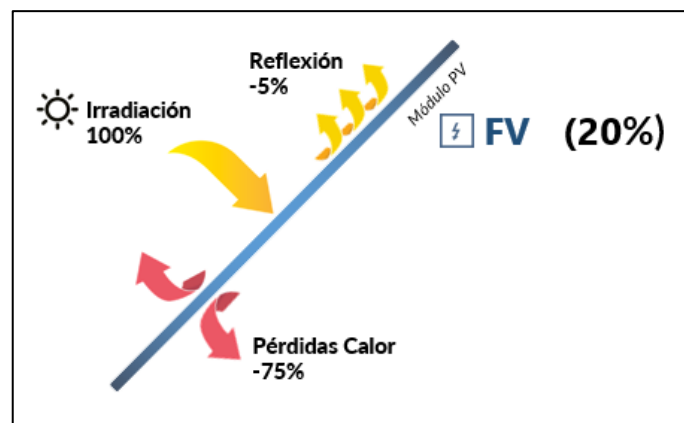


Ilustración 2: Balance energético de un panel solar estándar [1]

El panel híbrido PVT aHTech, incorpora un panel fotovoltaico y un circuito de agua en la parte posterior de este panel, el cual es capaz en la teoría de transformar las pérdidas de calor de la parte posterior del panel en energía termosolar. Generando de esta manera electricidad y, al mismo tiempo, energía térmica. Esta tecnología permite reducir las pérdidas de calor e incrementar hasta un 89% la eficiencia total del panel: 70% AC + 19% fotovoltaica. Este tipo de paneles incorpora una serie de mejoras, tal que del 100% de la radiación solar un 3% de vea

reflejado, un 8% se trasforme en pérdidas en forma de calor, un 19% se transforme en producción de electricidad y el otro 70% se trasforme en energía térmica para calentar el agua caliente sanitaria. En la ilustración inferior se puede ver el balance energético del panel híbrido con una sección transversal de sus capas. [1]

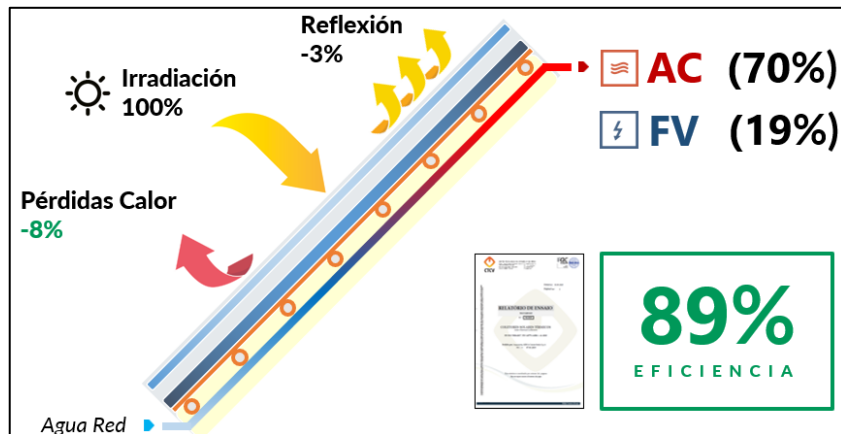


Ilustración 3: Balance energético del panel híbrido [1]

Esta recuperación de la energía térmica es gracias a la disposición de las capas del panel híbrido que combina una tecnología de encapsulamiento y aislamiento para evitar pérdidas térmicas del panel, maximizando de esta manera la producción de energía. El módulo dispone de una carcasa que envuelve el panel con un aislamiento posterior y frontal, de tal forma que la placa fotovoltaica y los tubos de producción quedan encapsulados. Dentro de este encapsulamiento se encuentran las células fotovoltaicas y el recuperador de calor.

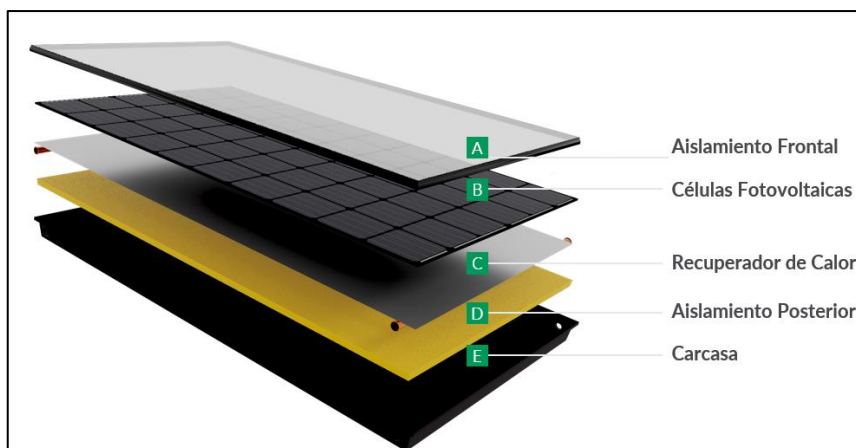


Ilustración 4: Sección panel híbrido [1]

El recuperador de calor consta de 2 tubos en paralelo, uno arriba y otro abajo, conectados entre sí por 9 tubos de 8 mm conformados en cobre el cual tiene una conductividad térmica de 380 W/mK. El agua es introducida al sistema por la parte inferior del panel mixto y se extrae por la parte superior una vez ya ha recorrido el circuito y, por tanto, ya ha sido calentada. El motivo de la utilización de 9 tubos de este tamaño y estas características es simplemente por la experimentación tanto por simulaciones como en experiencias reales donde, finalmente, la empresa decidió utilizar esta composición debido a ser la más eficiente y rentable.

El panel solar híbrido (PVT) tiene, como es lógico, especificaciones para ambas tecnologías tanto la solar como la térmica. Estas características pueden ser consultadas de forma pública en la ficha técnica del panel solar híbrido de Abora Solar [7] así como en el Anexo II de este mismo documento. A continuación, se recogen las principales características dado que resultan importantes para poder seguir el análisis del presente informe.

Las principales especificaciones térmicas de este panel son las siguientes:

Tabla 1: Especificaciones térmicas del panel

Especificaciones térmicas del panel	
Rendimiento óptico	0.7
Coeficiente de pérdidas térmicas, A1	5.98 W/m ² K
Coeficiente de pérdidas térmicas, A2	0.00 W/m ² K
Volumen de líquido interior	1.75 L
Tª de estancamiento	126 °C
Nº de conexiones hidráulicas	4 mediante conexionado rápido
Presión admisible	10 bar
Caudal nominal	60 L/h

En este apartado es importante destacar que gracias a estos datos se puede calcular la eficiencia general del colector en función de la temperatura y la irradiancia solar. Estos datos serán introducidos más adelante en la simulación la cual lleva incorporada ya la ecuación de la eficiencia, que se puede expresar de la siguiente manera:

Ecuación 1: Eficiencia colector Solar

$$\eta = \eta_0 - A_1 * \frac{T_c - T_a}{G} - A_2 * \frac{(T_c - T_a)^2}{G}$$

Siendo:

- η es la eficiencia del colector solar
- η_0 es el rendimiento óptico del colector solar
- A_1 es el coeficiente de pérdidas térmicas lineales [W/m²K]
- A_2 es el coeficiente de pérdidas térmicas cuadráticas [W/m²K]
- T_c es la temperatura del fluido dentro del colector [K]
- T_a es la temperatura ambiente [K]
- G es la irradiancia solar incidente sobre el colector solar [W/m²]

Por otro lado, las principales especificaciones eléctricas del panel son:

Tabla 2: Especificaciones fotovoltaicas del panel

Especificaciones fotovoltaicas / eléctricas del panel	
Tipo de célula	M2 PERC Mono 5BB
Potencia Nominal	350 W
Tensión Máx, Pot	39.86 V
Corriente Máx. Pot	8.76 A
Tensión en Circuito Abierto	48.61 V
Corriente Cortocircuito	9.16 A
Eficiencia del módulo	18 %

En este apartado se ha querido explicar el tipo de célula que lleva instalado la placa fotovoltaica que es la: **M2 PERC Mono 5BB**. Esta nomenclatura resume sus principales características. [8]

- Tipo de célula (*Mono*). Estas celdas están hechas de un cristal de silicio monocristalino lo que significa que dispone de una estructura única y uniforme que favorece una alta eficiencia. Siendo una de las celdas más utilizadas hoy en día en el mercado. la tecnología *MonoPerc* incorpora una lámina en la parte posterior que permite captar por un lado la luz solar, y por otro, aumentar la captación de electrones.
- Tecnología, *Perc*. La nomenclatura PERC significa “*Passivated Emitter and Rear Cell*” que se traduce del inglés como “Célula Pasiva con Emisor y Parte Trasera”. Esta tecnología es una innovación que mejora la eficiencia de conversión de luz en electricidad gracias a que se añade una capa de material en la parte trasera de la celda que actúa como una capa “pasivadora”. Esta capa evita que los electrones generados se recombinen con huecos evitando la generación de electricidad. Esta capa refleja la luz que no ha sido absorbida y la devuelve a la zona activa de la celda.

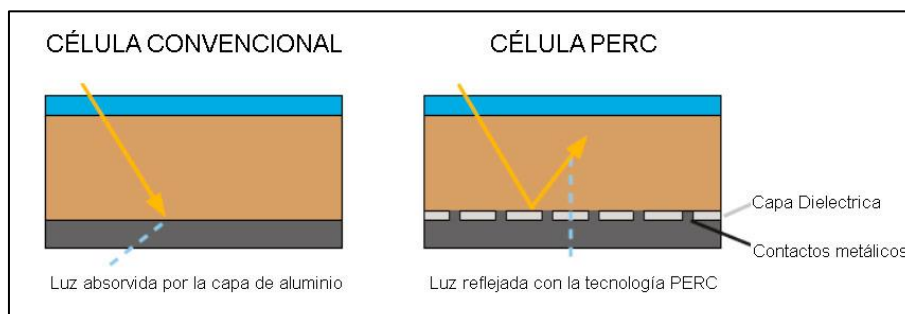


Ilustración 5: Tecnología PERC [8]

- Tamaño de la celda, *M2*. Esta nomenclatura representa el tamaño de la celda que es aproximadamente de 156.75 x 156.75 mm. Una medida bastante estandarizada en la industria de paneles solares, aunque puede haber de otros tamaños.

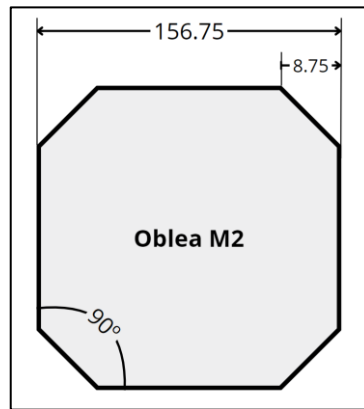


Ilustración 6: Tamaño celda M2 [elaboración propia]

- Número de barras colectoras, *5BB* (*5 BusBars*). Esta simbología hace referencia al número de barras colectoras para reducir las pérdidas de energía al minimizar la resistencia interna, mejorando así la eficiencia del flujo de corriente a través de la celda. Son barras metálicas muy delgadas que funcionan como soldadura entra celdas individuales de un panel y como conductor de la energía eléctrica generada fuera del panel.

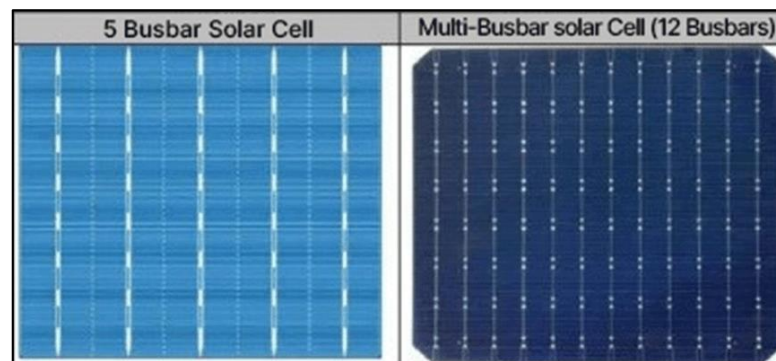


Ilustración 7: Comparativa de 5BB y 12BB [9]

Finalmente, también conviene mencionar las especificaciones generales del panel híbrido que comparten ambas tecnologías, como puede ser las dimensiones del panel completo, el área total del mismo, así como su peso. A continuación, se ven relegadas las especificaciones generales más importantes del panel.

Tabla 3: Especificaciones generales del panel

Especificaciones generales del panel	
Dimensiones	1.970 x 995 x (85+22) mm
Área total	1.96 m ²
Nº de células	72
Peso total	50 Kg
Vidrio frontal	Templado de 3.2 mm
Marco	Aluminio
Protección de la caja	IP65

A continuación, se puede observar la curva de rendimiento del panel donde se ve reflejado el rendimiento térmico, el rendimiento fotovoltaico y el rendimiento total híbrido. Esta gráfica es la proporcionada en la ficha técnica de Abora Solar.

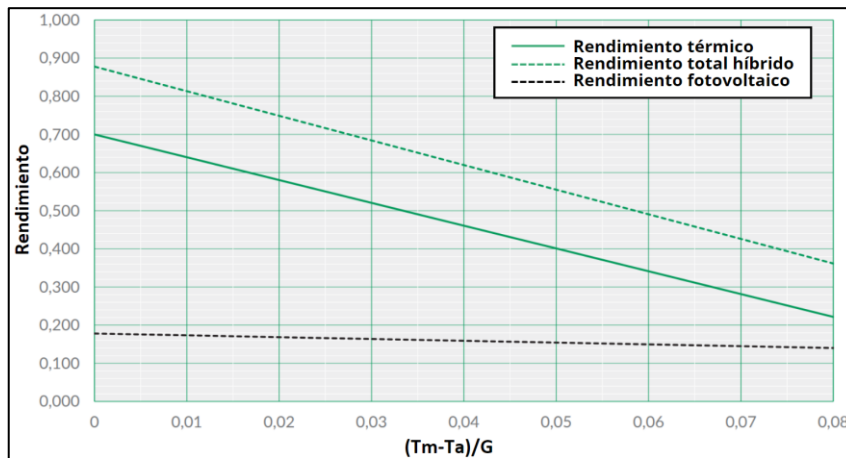


Ilustración 8: Curva de rendimiento [1] [7]

Capítulo 3. Tipos de configuración hidráulica.

Dejando a un lado el sistema fotovoltaico, la conexión de agua caliente se puede realizar de diferentes maneras teniendo en cuenta los paneles solares híbridos, en este caso actuando de colector solar. Donde disponemos del colector, el sistema de almacenamiento y el posible sistema auxiliar o bomba de calor utilizada. En el presente estudio, se explican 4 diferentes tipologías más utilizadas para conocer las diferentes posibilidades de implantación y se realizará la simulación para PVT + BdC_aw en serie dado que es la más utilizada por su simplicidad y eficiencia en la instalación. [13]

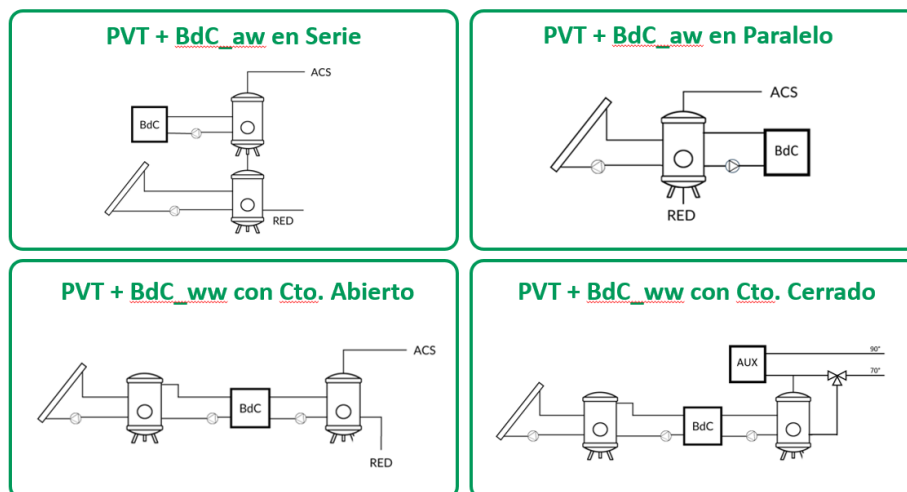
Las 4 disposiciones posibles durante una instalación hidráulica de este tipo son las siguientes:

- PVT+ BdC_aw en serie.
- PVT + BdC_aw en paralelo.
- PVT +BdC_ww con circuito abierto.
- PVT + BdC_ww con circuito cerrado.

Siendo el significado de las siglas el siguiente:

- PVT, “*photovoltaic-Thermal*”, es decir, combinando paneles fotovoltaicos con térmicos.
- BdC, bomba de calor.
- aw, “*air-water*”, es decir, aire –agua.
- ww, “*water-water*”, es decir, agua-agua.

El esquema hidráulico de este tipo de configuraciones se puede ver a continuación, aunque será detallado más adelante.



PVT + Bdc_aw en serie

El panel híbrido solar genera agua caliente que es usada para precalentar el agua caliente sanitaria la cual se almacena en un primer tanque de almacenamiento. De este tanque de almacenamiento se recircula a un segundo tanque de almacenamiento. Este tanque de almacenamiento podría ser considerado como el principal dado que es de donde se extrae el agua caliente el cual está conectado a su vez a una bomba de calor en paralelo que calentará el agua hasta la temperatura demandada.

Esta configuración permite precalentar el agua antes de ser calentada por la bomba de calor, consiguiendo así reducir la energía térmica soportada por la bomba de calor instalada. La configuración de la bomba de calor es aire – agua. La generación fotovoltaica de estos paneles híbridos puede ser auto consumida por la bomba de calor reduciendo además el gasto eléctrico de la bomba. Incluso pudiendo a generar más electricidad fotovoltaica de la consumida por la propia bomba de calor. Pudiendo ser utilizada en diferentes tipologías: aerotermia, geotermia o hidrotérmica.

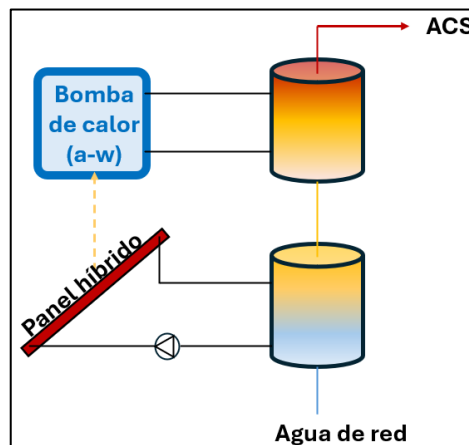


Ilustración 10: Panel híbrido + bomba de calor arie - agua en serie [13]

Esta configuración es muy útil cuando, por ejemplo, se quiere realizar una reforma en una vivienda para reducir el consumo eléctrico teniendo ya instalada una bomba de calor con deposito. De esta manera, tan solo sería necesario la instalación del panel híbrido y un tanque de almacenamiento para poder precalentar el agua de red antes de ser vertida al tanque el cual será calentado mediante la bomba de calor. Además, la bomba de calor trabaja con mayor eficiencia cuando el agua ya está precalentada. [13]

Este sistema será el utilizado más adelante para la simulación.

PVT + Bdc_aw en paralelo

En este tipo de configuración, se busca que el sistema se más compacto simplificando todos los circuitos hidráulicos y además reducir el espacio necesario. Se utiliza un tanque de multienergía el cual permite una mayor estratificación del tanque, logrando que tanto el panel híbrido como la bomba de calor puedan ser alimentados a bajas temperaturas consiguiendo así unas

condiciones de trabajo óptimas para ambos sistemas. Ambos sistemas, colector solar y bomba de calor, suministran el agua caliente al mismo tanque. El uso de una temperatura alta permite cumplir los requisitos obligatorios de legionela en el edificio.

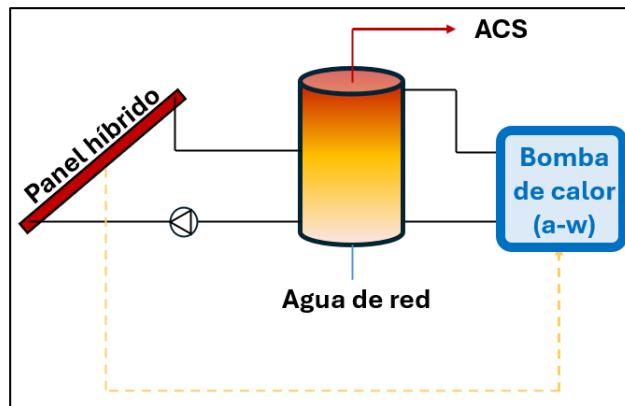


Ilustración 11: Panel híbrido + bomba de calor aire – agua en paralelo [13]

Con esta configuración estamos reduciendo un tanque con respecto a la anterior lo que hace que el sistema hidráulico se vuelva más compacto y sencilla en términos de diseño hidráulico, lo cual tiene un efecto rebote ya que el tanque deberá ser más grande. Este sistema reduce espacio y costos de instalación y sería más adecuada para una vivienda unifamiliar donde quizá no podamos instalar dos tanques. Además, dicho tanque va a tener que estar preparado para poder tener dos fuentes de calor, donde la bomba de calor se utiliza para calentar el agua del tanque cuando la energía solar no es suficiente para alcanzar la temperatura deseada con los paneles híbridos. [13]

PVT + BdC_ww con circuito abierto

Este tipo de configuración utilizar el panel híbrido para precalentar el agua de la entrada de la bomba de calor previo paso por un tanque de almacenamiento. Gracias a esto conseguimos que el panel híbrido funcionando como colector solar pueda trabajar a temperaturas menores. Tras haber pasado por la bomba de calor, la carga que cubre la demanda de calor está en circuito abierto, de tal modo que el agua de red es calentada mediante la bomba de calor hacia agua caliente sanitaria. Consiguiendo unos valores de SCOP mejorados para nuestra bomba de calor.

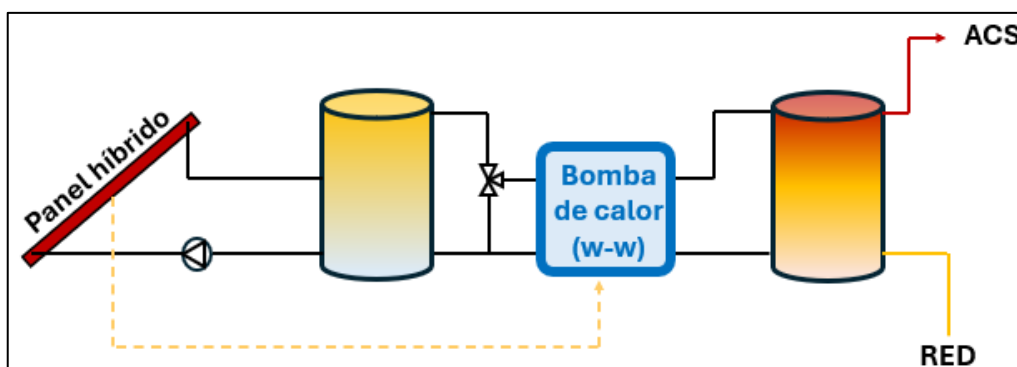


Ilustración 12: Panel híbrido + bomba de calor agua - agua cto. Abierto [13]

En esta configuración, la bomba de calor es agua – agua a diferencia de las anteriores, ya que aprovecha directamente el agua generada por el panel híbrido para su entrada. Tal y como ocurre en los anteriores, el consumo eléctrico es reducido debido a que la bomba de calor se abastece del panel híbrido eléctrico. [13]

PVT + BdC_ww con circuito cerrado

Este sistema utiliza un circuito cerrado para aplicaciones de calor a media o alta temperatura. Los paneles mixtos son la fuente de calor de la bomba de calor que utiliza agua – agua la cual la obtiene del primer tanque de almacenamiento el cual es el que ha sido precalentado por el panel híbrido actuando como foco frío de la bomba de calor. De este modo precalienta la entrada directamente para la bomba de calor pasando por un tanque intermedio.

Por el otro lado de la bomba de calor, está la carga que cubre la demanda de calor como precalentamiento con retorno. La bomba de calor generará agua caliente cogiendo agua “fría” del primer tanque y la almacenará en un segundo tanque en forma de agua caliente. Tras esto, un sistema auxiliar volverá a calentar esta agua en caso de ser necesario si la demanda lo pidiese.

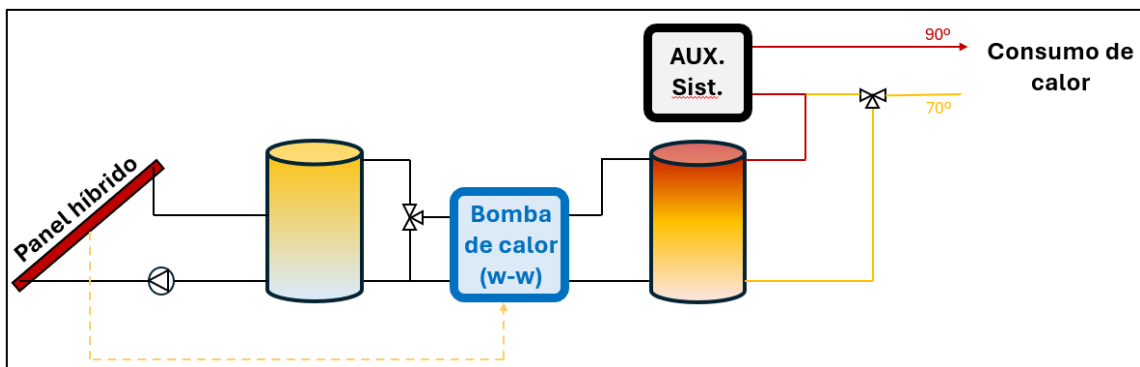


Ilustración 13: Panel híbrido + bomba de calor agua - agua cto. cerrado [13]

Gracias a este sistema, algo más complejo que los anteriores, podemos conseguir que los paneles trabajen a menor temperatura y, a su vez, conseguir que la bomba de calor mejore su SCOP al tener una fuente de calor más caliente.

Este tipo de sistemas se aplican en grandes instalaciones de calefacción centralizadas que distribuyen calor a través de tuberías a múltiples edificios o a procesos industriales que requieren de calor a temperaturas medias y altas. [13]

Capítulo 4. Aplicación real de panel híbrido a un hotel mediante simulación con Trnsys.

Una vez explicada la tecnología de hibridación la producción en paralelo de agua caliente sanitaria y energía eléctrica se ha realizado una simulación para un Hotel de 4 estrellas con 200 camas en Zaragoza. En esta simulación se ha escogido el esquema de panel híbrido + bomba de calor aire agua en serie y se ha comparado con la instalación del hotel existente para poder comparar si hay mejoría a nivel energético y económico.

Se ha elegido esta configuración dada su complejidad y ya que es una de las configuraciones que mejor se adapta a una instalación grande como son 200 camas. Además, dado que es un hotel y no una vivienda unifamiliar se dispone de espacio para la instalación de los dos depósitos y para el resto de los equipamientos.

4.1 Módulos utilizados y procedimiento.

En primer lugar, es importante recordad qué tipo de distribución se ha instalado y representarla en el simulador Trnsys con todo el conexionado. A continuación, se muestra el esquema que se ha creado en Trnsys. Dada su complejidad se va a explicar de forma breve algunos de los conjuntos de bloques.

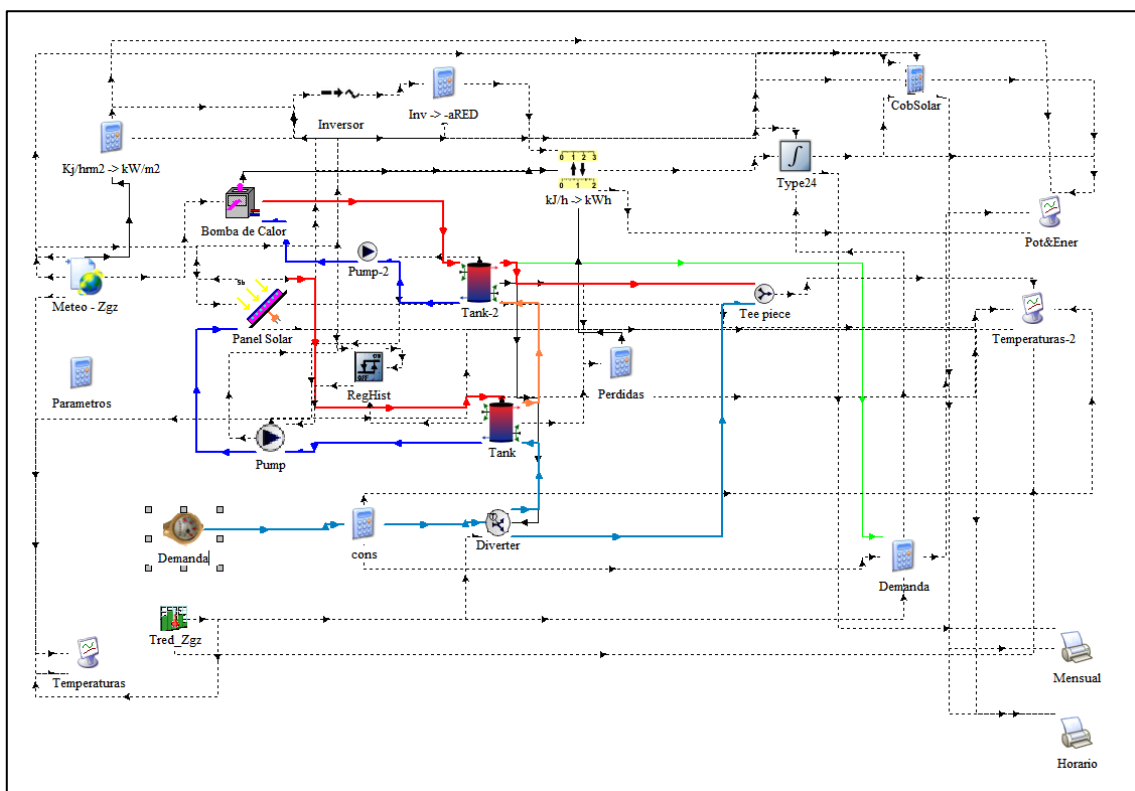


Ilustración 14: Esquema y disposición de la simulación [Elaboración propia]

Se ha procedido a diferenciar los conexiones mediante diferentes líneas de colores y tipología de línea. Dejando en color azul a la temperatura fría y en rojo a la temperatura caliente. Aquellas líneas discontinuas o de rayas significan entradas y salidas del programa. Por ejemplo, el módulo meteorológico se conecta al módulo del panel híbrido para introducirle todos los valores necesarios como temperatura ambiente, humedad, viento, radiación solar directa, etcétera.

Aquellos módulos que están representados por una impresora o un ordenador nos permiten sacar la información del programa a una hoja de cálculo para poder realizar los cálculos oportunos. Por ejemplo, la producción total de energía eléctrica y térmica. Además, también podemos apreciar que los inputs son el bloque F-Chart y Tred_zgz donde están recogidos los consumos y la temperatura de red de Zaragoza para poder introducirlos al programa.

Dividiendo el programa en subgrupos nos encontramos que tenemos por un lado el bloque meteorológico junto con el primer esquema hidráulico formado por: el panel híbrido, el tanque, el regulador y su correspondiente bomba para hacer circular el líquido interior. Una vez precalentada el agua con el panel híbrido y almacenada en el primer tanque pasa al segundo subgrupo o circuito formado por la bomba de calor, el segundo tanque y su correspondiente bomba.

Por otro lado, nuestro panel híbrido se ha dimensionado según las medidas y características reales del panel de la empresa para poder ser lo más realista posible. Esto es:

Tabla 4: Especificaciones del panel

Características reales del panel			
Especificaciones eléctricas		Especificaciones térmicas	
Tipo célula	Mono-Cristalina	Rendimiento óptico	0.7
Potencia Nominal	350W	Coef. Pérdidas Térmicas	5.98 W/m ² k ²
Eficiencia eléctrica	17.8 %	Número tubos	9
Área total	1,97 x 0.995	Diámetro tubos	8 mm

Para la bomba de calor, se ha utilizado la bomba de la marca Nordik KWK-A aire-agua. Sus características pueden ser consultadas en la ficha técnica de la bomba según la referencia [3]. Estos parámetros han sido introducidos en el simulador para poder realizar la simulación de la forma más aproximada posible. A continuación, se muestra una imagen de cómo es esta bomba para poder tener una idea de cómo es.



Ilustración 15: Bomba de calor Keyter [3]

Es importante destacar, que todas estas conexiones y almacenamientos de agua tienen unas pérdidas que hay que considerar. En algunos módulos de Trnsys estas pérdidas son introducidas automáticamente, pero en otros hay que tenerlos en cuenta de forma manual. Es por esto, que se ha creado un módulo de pérdidas donde están recogidas todas las pérdidas debidas a los tanques y a las tuberías que conectan entre sí todos los módulos y tanques.

Finalmente, también es importante mencionar el regulador (*RegHist*) el cual tiene la función de controlar a la bomba de alimentación del panel solar. De tal modo que si por ejemplo no tenemos radiación solar porque es de noche se apague y no circule agua por el panel ni se coja el agua del tanque. Si esto ocurriese, el agua templada del tanque pasaría al panel solar sin radiación y se enfriaría, consiguiendo el efecto contrario al deseado.

4.2 Resultados de la simulación

Los resultados de la simulación han sido trabajados y analizados para su representación de una forma más simplificada y visual. La simulación ha sido realizada para un año entero o lo que es lo mismo 8760 horas. Para hacer un análisis más fino se ha procedido a realizar la simulación cada 0.125 horas o lo que es lo mismo cada 7.5 minutos.

Se ha considerado sacar la Irradiación horaria, irradiación por panel, la producción fotovoltaica, térmica y total, así como las pérdidas debido a los dos tanques y a las tuberías. Por otro lado, se ha obtenido también la demanda total pudiendo calcular así el porcentaje de cobertura. A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras su análisis.

Tabla 5: Resultados de la simulación

	TIME	Irr_H_Trnsys	Irr_Pan_Trnsys	PVT_PV	PVT_TH	Pérd. Tub.	PVT_Thutil	Demanda	Cspan	CSutil
	HOURS	kWh/m2	kWh/m2	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	%	%
ene	744.00	64.64	64.63	1978.36	5121.33	155.44	4965.88	20500.27	0.25	0.24
feb	1416.00	89.60	89.59	2784.30	7863.02	192.18	7670.84	18264.14	0.43	0.42
mar	2160.00	140.30	140.30	4021.15	11450.65	306.75	11143.89	19767.20	0.58	0.56
abr	2880.00	173.56	173.56	5193.23	15058.26	408.27	14650.00	18349.06	0.82	0.80
may	3624.00	201.00	200.99	6172.87	18687.14	536.87	18150.27	17862.00	1.05	1.02
jun	4344.00	227.87	227.86	6928.49	21791.39	667.43	21123.97	16428.87	1.33	1.29
jul	5088.00	240.79	240.78	7647.01	24388.62	788.72	23599.90	16060.20	1.52	1.47
ago	5832.00	211.04	211.03	6548.29	21205.46	701.74	20503.72	16354.76	1.30	1.25
sep	6552.00	156.73	156.72	5128.56	16131.84	538.62	15593.22	16602.82	0.97	0.94
oct	7296.00	112.70	112.70	3346.38	10065.97	377.17	9688.80	18375.78	0.55	0.53
nov	8016.00	74.39	74.38	2183.69	6174.20	214.34	5959.85	19116.00	0.32	0.31
dic	8760.00	54.53	54.52	1347.99	3462.15	125.55	3336.61	20378.42	0.17	0.16
	Total	1747.14	1747.06	53280.34	161400.02	5013.08	156386.94	218059.50	74%	72%
NºPan	70			761.15	2305.71	3.2%	2234.10			
m2	137.21									

Durante los siguientes apartados vamos a ir viendo los diferentes parámetros importantes, su comparativa y valores finales punto por punto. No obstante, cabe destacar en este punto algunos valores como el porcentaje de pérdidas por las tuberías que asciende a un 3.2%, un valor razonable para una instalación de estas características.

4.3 Energía producida

Si bien estos resultados son bastante completos, hay que definir y explicar los valores que aquí se muestran, así como ordenar y analizar estos resultados. Los valores más importantes de esta tabla vienen reflejados en la parte central donde podemos observar la energía producida tanto fotovoltaica, como térmica, como las pérdidas debido a tuberías y tanques y, por último, la energía total útil la cual es la suma de la fotovoltaica y la térmica. Resultando los siguientes valores:

Tabla 6: Energía producida PV, Térmica y Total

Energía producida	
Fotovoltaica	53280 kWh/año
Térmica útil	156387 kWh/año
Total	209667 kWh/año

Si obtenemos el valor de los porcentajes que representa la energía fotovoltaica y la energía térmica útil a lo largo de un año obtenemos que la energía fotovoltaica está representando un 25% del total, mientras que la energía térmica representa un 75% del total.

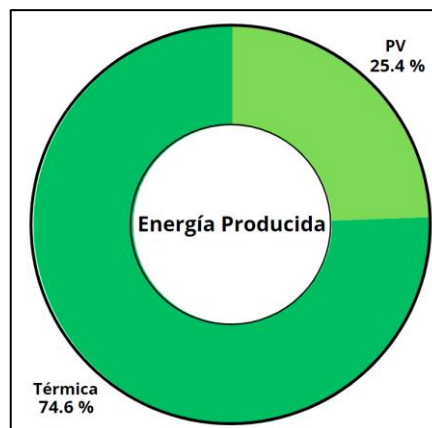


Ilustración 16 Porcentaje de energía anual [Elaboración propia]

Estos valores han sido calculados de forma mensual con una frecuencia de 7.5 minutos. Es interesante representar dichos valores de forma gráfica por mes. En la imagen inferior, podemos observar la energía producida en 1 año en cada mes. Además, resulta interesante la comparativa de la energía fotovoltaica, energía térmica y la total. Como es lógico en los meses de verano la energía térmica aumenta significativamente en comparación con los meses de invierno. No obstante, aunque la energía fotovoltaica también aumenta en los meses de verano, no lo hace al mismo ritmo que la energía térmica, esto se debe a que el calentamiento de las células fotovoltaicas reduce la eficiencia generando así menos electricidad.

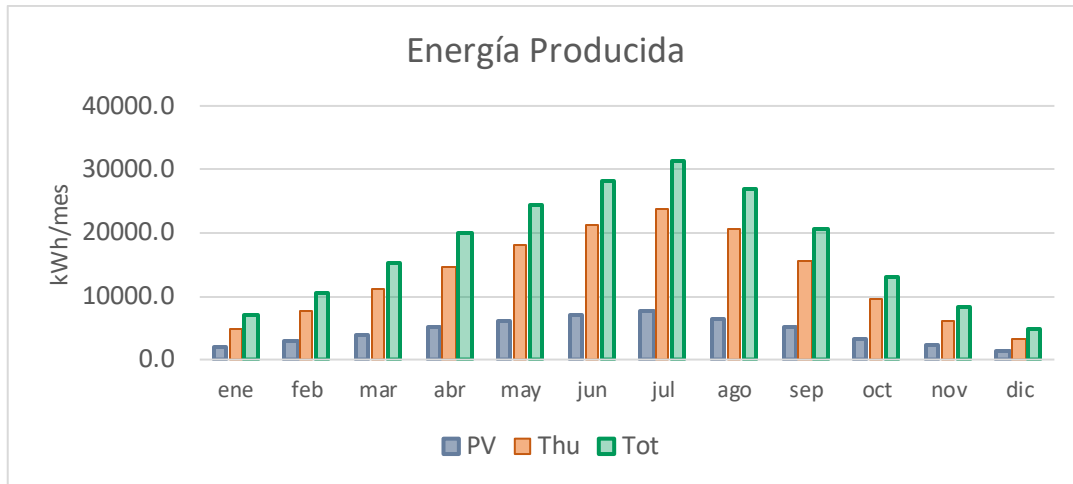


Ilustración 17 Energía producida mensualmente: PV + Térmica + Total [Elaboración propia]

4.4 Cobertura solar térmica y eléctrica.

En este apartado se va a calcular la cobertura solar térmica y el balance eléctrico anual de la instalación para saber si estamos dentro de los parámetros especificados que se fijan en un mínimo de un 70% de cobertura térmica solar en este tipo de instalaciones tal y como se ha visto en los primeros apartados de este mismo documento.

Dado que la producción térmica anual es de 156387 kWh/año y la demanda térmica de ACS es de 218059 kWh/año se puede obtener el porcentaje de cobertura solar térmica realizando un cálculo simple.

Ecuación 2: Cobertura solar térmica

$$\text{Cobertura solar térmica} = \frac{156387}{218059} = 71.7 \%$$

Por otro lado, la producción eléctrica fotovoltaica es de 53280 kWh/año. En este caso, es de interés compararlo con el consumo extra que está generando la instalación de la bomba de calor. El consumo eléctrico de la bomba de calor es de aproximadamente 25000 kWh/año. Comparando estos dos valores podemos observar que la producción eléctrica fotovoltaica es muy superior al consumo eléctrico de la bomba de calor. Resultando:

Ecuación 3: Balance eléctrico anual

$$\text{Balance eléctrico anual} = 53280 - 25000 = + 28280 \text{ kWh/año}$$

Con estos valores, se puede afirmar que la instalación ejecutada es completamente rentable y dentro de los valores establecidos con una cobertura térmica de casi el 72% y reafirmando lo que ya se preveía que el consumo de la bomba de calor está soportado completamente por la parte fotovoltaica de los paneles en el cómputo total anual. Esto último significa que se produce más electricidad que la consumida por la instalación, aunque durante periodos de noche la bomba de

calor tome la electricidad de la red eléctrica y no de la fotovoltaica, mientras que en otros periodos estaremos vertiendo electricidad a la red eléctrica o a las instalaciones del edificio.

4.5 Porcentaje de cobertura solar sobre la irradiación del panel y total

Otros datos interesantes para saber si el funcionamiento es correcto y si sale rentable la aplicación de dicha simulación en la vida real son los porcentajes de cobertura sobre la irradiación del panel a nivel fotovoltaico y térmico. Estos valores nos indican la proporción de la energía solar que un panel o el conjunto de todos ellos, es capaz de convertir en energía eléctrica o térmica en relación con la cantidad total de irradiación que incide sobre el panel.

Ecuación 4: Cobertura Solar PV

$$\% \text{ FV sobre Irrad}_{\text{panel}}(FR) = \frac{\text{Producción fotovoltaica anual}}{\text{Irradiación}_{\text{panel}} * m^2 \text{ paneles}} = \frac{53280}{1747 * 137.21} = 22.2\%$$

Ecuación 5: Cobertura Solar Térmica

$$\% \text{ ST sobre Irrad}_{\text{panel}} = \frac{\text{Producción térmica anual}}{\text{Irradiación}_{\text{panel}} * m^2 \text{ paneles}} = \frac{156387}{1747 * 137.21} = 65.2\%$$

Ecuación 6: Cobertura Solar Total Anual

$$\% \text{ Total sobre Irrad}_{\text{panel}} = \frac{\text{Producción total anual}}{\text{Irradiación}_{\text{panel}} * m^2 \text{ paneles}} = \frac{209667}{1747 * 137.21} = 87.5\%$$

Recogiendo los resultados de forma conjunta obtenemos:

Tabla 7: Porcentaje de cobertura solar sobre irradiación del panel

% de Cobertura sobre Irradiación del panel	
% FV sobre Irrad_panel (PR)	22.2%
% ST sobre Irrad_panel	65.2%
% Total sobre Irrad_panel	87.5%

4.6 Presupuesto para 70 paneles.

Ya que se ha realizado un estudio de la hibridación de paneles térmicos y fotovoltaicos y una simulación en un caso real de los mismos se ha querido realizar una pequeña estimación del presupuesto y que no es el objetivo principal de dicho trabajo.

Para conocer el presupuesto de dichos paneles se ha calculado mediante los precios reales de materiales, estructuras, carrocerías, mano de obra, etcétera. Para obtener estos valores se ha hecho una estimación. Teniendo en cuenta todo lo que puede llegar a costar la instalación. Además, comparándolo con otras instalaciones de similares características.

Resultando:

Tabla 8: Desglose de presupuesto de la instalación

Presupuesto para 70 paneles	
Bancada de paneles	39,817.19 €
Instalación hidráulica	23.377.9
Instalación fotovoltaica	7,090.56 €
Instalación monitorizador	4,074.68 €
Total, bruto	50,982.43 €
Margen material al 25%	12,745.61 €
Margen M.O al 20%	10,196.49 €
Inversión Total (€)	73,924.52 €
Inversión (€/m ²)	538.77 €

La inversión total para 70 paneles con estas características sería de aproximadamente 74.000€. Teniendo en cuenta, como se ha mencionado antes, que este presupuesto es una estimación y que el estudio no se centra tanto en el valor económico. Sin embargo, resulta interesante observar la inversión por m² de panel solar que asciende hasta los 538.77€/m². Este valor resulta de interés para poder comparar el precio de la placa por metro cuadrado con otros valores de mercado.

Viéndolo de otra manera, cada parte de la instalación costaría los siguientes porcentajes, siendo la parte fotovoltaica la que menos costaría con diferencia dado el rápido descenso en los precios de las células fotovoltaicas, así como del resto de aparatos eléctricos como los inversores. Realizando una aproximación la parte térmica representa un 70% de la inversión mientras que la fotovoltaica representa el otro 30% de la inversión total.

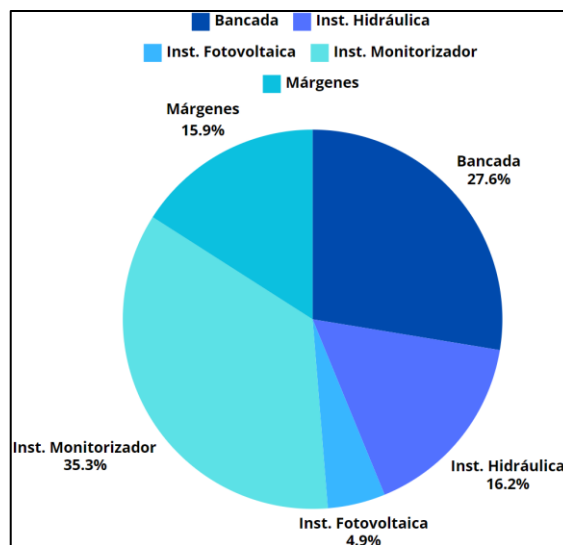


Ilustración 18: Porcentaje de la inversión total [Elaboración propia]

4.7 Coste por unidad de energía “*Levelized Cost of Energy and Heat*”

Con estos valores de presupuesto, se ha calculado por otro lado el *Levelized Cost of Heat (LCOH)*, *Levelized Cost of Energy (LCOE)* y el total de la instalación el cual mide el costo promedio por unidad de energía que se espera tener en un sistema de generación durante su vida útil

Dado que se trata de una instalación mixta y se debe de tener en cuenta tanto la parte térmica y la fotovoltaica, se ha atribuido un 70% del coste a la parte térmica y un 30% a la parte fotovoltaica ya que son los valores medios que ha obtenido la empresa en otros proyectos. Esto se debe a que la parte térmica conlleva un gasto mucho mayor en materiales y equipos como tuberías, líquidos, tanques de almacenamiento y otros sistemas.

Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

Ecuación 7: *Levelized Cost of Heat*

$$LCOH = \frac{\text{Inversión} \times 0.7}{\text{Producción}_{\text{Térmica}} \times 25 \text{ años}}$$

Ecuación 8: *Levelized Cost of Energy*

$$LCOE = \frac{\text{Inversión} \times 0.3}{\text{Producción}_{\text{Fotovoltaica}} \times 25 \text{ años}}$$

Ecuación 9: *Levelized Cost of Total Energy*

$$LCO_{\text{Total}} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Producción}_{\text{Total}} \times 25 \text{ años}}$$

Resultando los siguientes valores:

Tabla 9: *Levelized Cost of Energy and Heat*

Resultados <i>Levelized Cost</i>		Valores medios globales	
LCOH	0.027€/kWh	LCOH	[0.020 – 0.050] €/kWh
LCOE	0.035€/kWh	LCOE	[0.040 – 0.080] €/kWh
LCO _{Total}	0.029€/kWh		

Según los últimos datos de IRENA (*International Renewable Energy Agency*) del 2022 [4] y [5] el LCOE de la energía fotovoltaica era de 0.045 €/kWh estando en un rango de entre 0.020 €/kWh y los 0.050 €/kWh.

Por otro lado, para los colectores solares el LCOH está en un rango de entre 0.040 €/kWh y los 0.080 €/kWh térmico según datos del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). [6]

Portanto, si los comparamos con nuestros valores estaríamos dentro del rango de operación con valores más bajos de la media. Teniendo en cuenta que no solo estamos generando un solo tipo de energía, sino que estamos pudiendo generar tanto energía térmica en forma de agua caliente sanitaria como energía eléctrica producida por la parte fotovoltaica.

4.8 Resultados de las temperaturas del tanque 1.

Resulta de interés conocer si los tanques de almacenamiento están funcionando de forma correcta. Esto significaría que la temperatura esta estratificada dentro del tanque, ya que no va a haber la misma temperatura en la parte inferior del tanque que en la parte superior del tanque. Para poder ver esto se ha procedido a sacar 5 temperaturas del tanque a modo de prueba donde se ha representado a lo largo de toda la línea de tiempo.

A continuación, se muestran los resultados a lo largo de un año con una ampliación temporal aleatoria para poder hacer un aumento a una parte en concreto de la simulación. En este caso estaríamos entre la hora 4042 y la hora 4110.

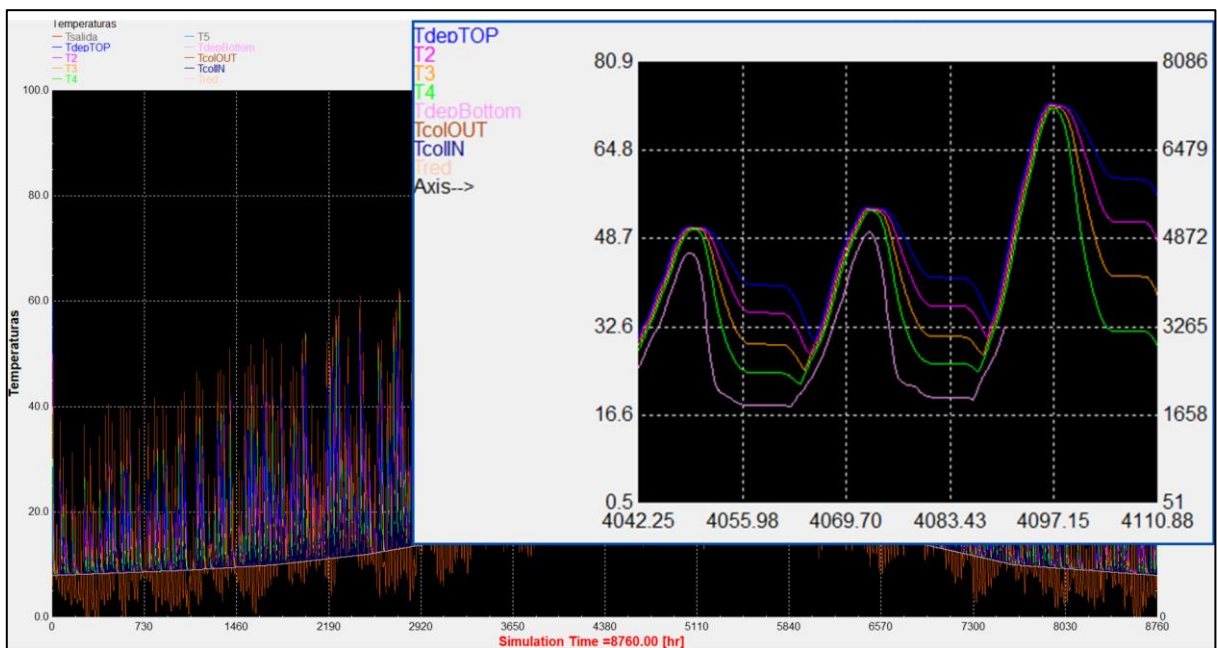


Ilustración 19 Resultados de la temperatura interior del tanque 1 [Resultados del programa]

Haciendo un análisis de esto lo primero que debemos tener en cuenta es saber en qué día del año y hora nos encontramos. A continuación, se muestra la equivalencia de horas en la que nos encontramos.

Tabla 10: Equivalencia de hora del año al día y hora del día

Hora	Día	Hora del día
4042	17 de junio	10:00
4055	17 de junio	23:00
4069	18 de junio	13:00
4083	19 de junio	03:00
4097	19 de junio	17:00
4110	20 de junio	06:00

Ahora se puede apreciar como por ejemplo en la hora 4097 que corresponde con el 19 de junio a las 17:00 tenemos el pico más alto de calor con una temperatura de 70°C en el tanque 1. Además, también se ve como todas las curvas están concentradas sin apenas separación entre ellas, lo que significa que el tanque se encuentra prácticamente a la misma temperatura sin una estratificación clara.

Por otro lado, ese mismo día 19 de junio a las 03:00 de la madrugada (hora 4083) tenemos un tanque frío y muy estratificado con una diferencia de la temperatura de arriba y la de más debajo de casi 20°C. Lo cual es lógico dado que los colectores solares no están funcionando y este es el tanque de almacenamiento primero. Si en este momento se precisa de agua caliente, se necesitará el uso de la bomba de calor o del tanque segundo.

Los datos meteorológicos que se están utilizando son datos oficiales y varían según el histórico de los días, es por esto por lo que el día 18 de junio a las 13:00 o lo que es lo mismo la hora 4069 tenemos un pico de tanque caliente y poco estratificado, pero sin embargo no llega a los valores del 19 de junio. Esto se debe simplemente a los datos meteorológicos que ha aplicado en ese día, por ejemplo, más o menos nublado lo que se traduce en más o menos radiación que incide sobre el panel.

Como es lógico, la temperatura de salida del tanque será obtenida de la parte superior del tanque dado que es la parte más caliente pudiendo aprovechar de forma más eficiente la energía obtenida en forma de calor.

4.9 Emisiones de CO2 evitadas

Un punto muy importante hoy en día son las emisiones de CO2 que se expulsan y más cuando se trata de edificios públicos o privados como un hospital, una fábrica, una industria, etcétera. Implantando esta tecnología, como es lógico, vamos a evitar que se expulsen muchos kgCO2 al año dado que nuestra instalación no emite CO2 y la anterior instalación sí.

Para poder calcular las emisiones de CO2 evitadas se ha simulado y se han recogido los valores medios evitados en los diferentes proyectos de la empresa que se estiman en torno a 530 Kg/CO2 por panel instalado al año y 815 kgCO2 por panel instalado al año.

Dado que en nuestra instalación se han instalado 70 paneles solares estaremos ahorrando una media de aproximadamente 42 toneladas de CO2 al año.

Ecuación 10: Aproximación de CO2 ahorrado

$$600 \frac{\text{Kg}}{\text{CO2}_{\text{año}}} \times 70 \text{ paneles} = 42.000 \text{ KgCO2} = 42 \text{ Toneladas CO2}$$

Capítulo 5. Conclusiones.

Como se ha recogido a lo largo del documento, se ha analizado la evolución y el rendimiento de las tecnologías solares con un enfoque diferente e innovador como son los paneles híbridos fotovoltaicos y térmicos comparados con los módulos fotovoltaicos convencionales. A través de estos análisis, se evidencian diferentes conclusiones clave en el rendimiento, eficiencia, viabilidad y otros aspectos.

5.1 Superioridad en la eficiencia energética y cobertura solar.

Lo más destacable de la simulación es que la instalación está cubriendo un 72% de cobertura térmica, es decir, del total anual consumido por el edificio el 72% es aportado por la instalación cumpliendo con la normativa de que más del 70% debe ser aportado de forma renovable. Además, a pesar de que la bomba de calor supone un gran consumo eléctrico, el 100% de este consumo eléctrico es aportado por la parte eléctrica de los paneles incluso con un exceso de electricidad que puede ser volcado a la red eléctrica o usado para otros equipos del edificio. Todo esto consigue que la instalación sea una instalación completamente renovable con un coste económico dentro de los valores promedio del mercado cumpliendo así el objetivo de esta.

Todo esto puede apreciarse en las tablas que aparecen a continuación.

Tabla 11: Resumen de consumos y producción

Demanda	
218059 kWh/año	
Bomba de calor	
Consumo eléctrico	25000 kWh/año
Producción solar	
Fotovoltaica	53280 kWh/año
Térmica útil	156387 kWh/año
Total	209667 kWh/año

Tabla 12: Cobertura solar térmica y balance eléctrico

Cobertura Solar Térmica	72 %
Balance Eléctrico Anual	+ 28280 kWh/año

Por otro lado, hay que mencionar que los paneles fotovoltaicos tradicionales están todavía en valores de menos de un 20% de eficiencia energética. Mientras que los paneles híbridos aquí presentados están logrando rendimientos del 89% de eficiencia energética gracias a la combinación de ambas tecnologías.

Esto tiene una gran importancia en aplicaciones reales ya que, con menos metros cuadrados de superficie útil podemos generar más energía eléctrica. En ocasiones esto puede resultar útil cuando tenemos de cubiertas de edificios o viviendas unifamiliares con escasos metros de cubierta para realizar la instalación. Con estos paneles híbridos se ahorra un 50% del espacio

disponible en la cubierta de la instalación y, además, se genera 4 veces más de energía que un panel fotovoltaico convencional. [1]

5.2 Beneficios del calentamiento de la bomba de calor frente a caldera convencional

En la instalación propuesta se ha utilizado una bomba de calor tal y como se ha mostrado. El uso de este tipo de dispositivos presenta numerosas ventajas frente a las calderas de gas convencionales. Algunas ventajas del uso de bombas de calor frente a calderas de gas son los siguientes:

- El primer punto destacable son los costes operativos. Una bomba de calor depende del precio de la electricidad y, teniendo en cuenta que estamos usando energía fotovoltaica, gran parte de este consumo eléctrico es obtenido de forma “gratuita” de las placas solares instaladas. Por otro lado, las calderas convencionales van a depender de fuentes de energía como gas natural que puede estar sujeto a fluctuaciones de precio.
- El impacto ambiental de las bombas de calor es especialmente bajo, sin emisiones directas significantes y, combinado con la fotovoltaica, reduciendo las emisiones totales mientras que las calderas convencionales tienen emisiones de CO₂, así como otros contaminantes derivados de la combustión.
- Por lo general, los costes de mantenimiento de una bomba de calor son menores que los requeridos en una caldera. Esto se debe a que en la caldera hay que hacer mantenimientos en los quemadores y sistemas de combustión.
- Otra comparación significativa es que el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) considera en sus directrices como energía primaria renovable la energía proveniente del ambiente, es decir, el calor extraído del ambiente por la bomba de calor. Esto hace que la instalación se completamente renovable en términos de energía final ya que la electricidad viene cubierta por la solar.

Es por esto, por lo que el uso de bombas de calor combinadas con energía renovable como instalaciones fotovoltaicas es más recomendado que el uso de las calderas convencionales. No obstante, hay que mencionar que la instalación y los equipos requeridos para una instalación con bomba de calor requieren de una inversión inicial más alta y con el requerimiento de la adaptación al sistema existente en caso de ser una reforma o adaptación.

5.3 Impacto ambiental positivo, reducción de CO2 y rentabilidad económica

Como es lógico, los paneles híbridos contribuyen significativamente a la reducción de la huella de carbono de un edificio, hotel, vivienda o empresa al maximizar el uso de la energía. Gracias a estas implantaciones se reduce la necesidad del uso de fuentes de energía fósiles evitando así las emisiones de gas invernadero.

En numerosas ocasiones, las empresas recurren a estos sistemas energéticos para evitar las emisiones equivalentes de CO₂ las cuales deben ser compensadas económicamente por las empresas, contribuyendo así a un doble beneficio para las empresas dado que van a reducir las emisiones equivalentes de CO₂ y, además, van a poder utilizar esta energía para sus propios beneficios. Por ejemplo, la eléctrica para las instalaciones de dicha empresa y el agua caliente para los sistemas de calefacción o diferentes procesos que requieren de agua caliente o una fuente de calor en la industria. Tal y como se ha visto en el documento y según los datos de la empresa y simulaciones por cada placa instalada podríamos estar reduciendo hasta 600 kg de CO₂ por año y placa

El presente trabajo no es un estudio de viabilidad económica y no se ha profundizado en este aspecto, sin embargo, con los datos obtenidos de "*Levelized Cost*" y comparándolos con los datos medios ofrecidos por diferentes fuentes de información oficiales, se puede concluir que las instalaciones y este tipo de paneles son económicamente asequibles con valores inferiores a los del mercado actual.

5.4 Innovación tecnológica, desafíos y perspectivas futuras

Se puede concluir que la innovación tecnológica de la hibridación de paneles fotovoltaicos con agua caliente se una opción factible, viable y económica que cuenta con las certificaciones y homologaciones pertinentes. Con un producto fabricado al 100% en España a un precio más que competitivo frente a mercado asiáticos.

La innovación del panel híbrido rompe con el concepto tradicional de la energía puramente fotovoltaico para hibridarla con los colectores solares térmicos. Creando un concepto de tecnología que es simplemente: Sol, Calor y Electricidad. (Solar, Heat and Electricity (SHE)).

Ya no se puede hablar de que las energías renovables son el futuro porque ya forman parte de nuestro día a día. Sin embargo, sí se puede hablar de la invocación y desafíos futuros que quedan por lograr. Como seguir con la concienciación del uso de este tipo de instalaciones híbridas, fotovoltaicas o térmicas explicando y haciendo llegar que la inversión se recupera y que los beneficios obtenidos son considerables. Seguir trabajando en la maximización de la eficiencia de los paneles, en particular de los fotovoltaicos con la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y actualización de las actuales.

ANEXOS.

Anexo I. Programa y gráficas obtenidas del programa.

Se muestra en las siguientes imágenes el esquema del programa para que cualquier usuario con conocimientos en Trnsys pueda replicarlo y valorar de una forma más técnica el trabajo y la simulación.

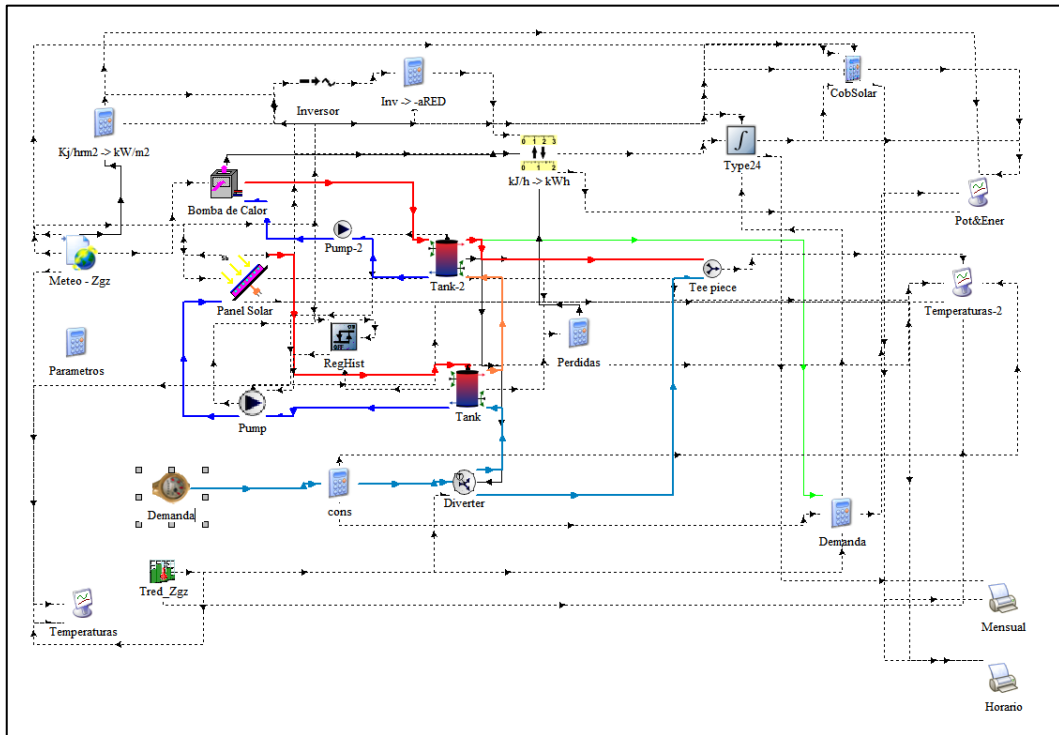


Ilustración 20: Esquema de la simulación

En la imagen inferior, se ha hecho una ampliación de la parte de conexiones hidráulicas para poder apreciar mejor todas las interconexiones.

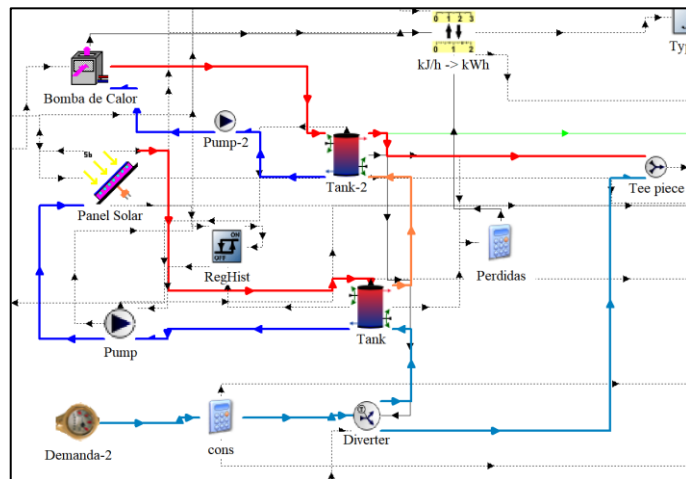


Ilustración 21: Ampliación del esquema

A continuación, se muestran algunas gráficas obtenidas del programa donde se representan diferentes valores como la temperatura, la energía o la potencia de algunas partes de la simulación. El periodo de tiempo escogido ha sido de 1 año natural. Cabe destacar que es difícil mostrar estas graficas en una imagen en estático dado su complejidad y la cantidad de valores representados en ellas, por lo que hace difícil su interpretación.

Si bien es cierto que esta forma de representación gráfica es útil para una primera estimación visual y comprobar de forma rápida que los valores son correctos, para realizar el estudio se han extraído estos valores a una hoja de cálculo donde se ha podido realizar los cálculos pertinentes mostrados anteriormente. Sin embargo, resulta interesante ver como con este programa y con la simulación se pueden obtener todos los valores deseados en cualquier periodo temporal. Además, si seleccionamos cualquier parte de la gráfica podemos ampliar a un periodo determinado donde podremos observar de una forma más visual la gráfica correspondiente.

1.1 Gráfica Temperatura [°C]

Se representan las temperaturas más características para comprobar que la simulación es correcta. Como, por ejemplo, las temperaturas estratificadas del tanque de almacenamiento, la temperatura de entrada o la temperatura de salida entre otras.

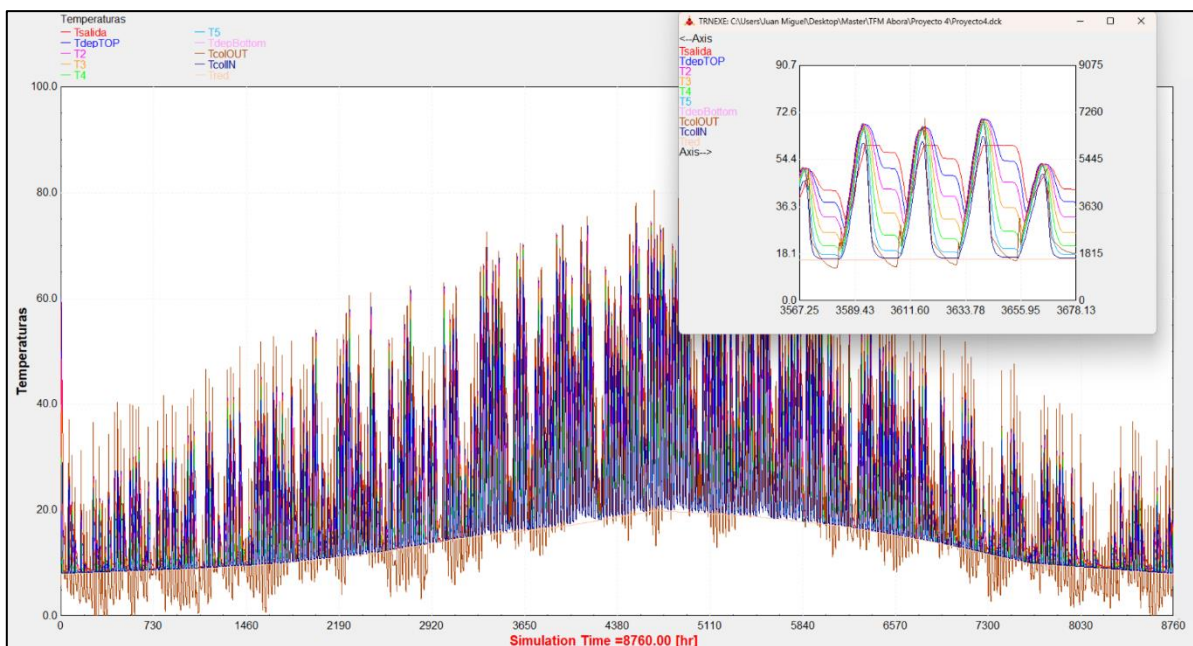


Ilustración 22: Resultados de la simulación: Temperaturas [Resultado simulación]

Las temperaturas indican de arriba abajo las temperaturas internas del tanque: la temperatura de salida del tanque y la temperatura de arriba del tanque son muy similares dada la cercanía de ambas. Por otro lado, están las temperaturas T2, T3, T4 y T5 que representan temperaturas del tanque a una equidistancia entre ellas. Por último, están las temperaturas del fondo del tanque, así como la temperatura de entrada fría al tanque.

En la misma gráfica también se ha representado la temperatura de red a la que llega el agua a la instalación

I.II Gráfica energías [kW] y potencias [kWh]

Se representan los valores de la energía y la potencia más representativos para realizar el estudio. Hay algunos valores mostrados en la leyenda que no están representados en la gráfica, esto se debe a que no eran necesarios para realizar el estudio o eran demasiado redundantes. Algunos de los valores representados en la potencia que son más importantes son la irradiación horaria y la irradiación horario por panel, así como la cobertura solar. Por otro lado, en la energía se ha representado la energía total a lo largo de un año sobre, así como la generada por un panel entre otros valores.

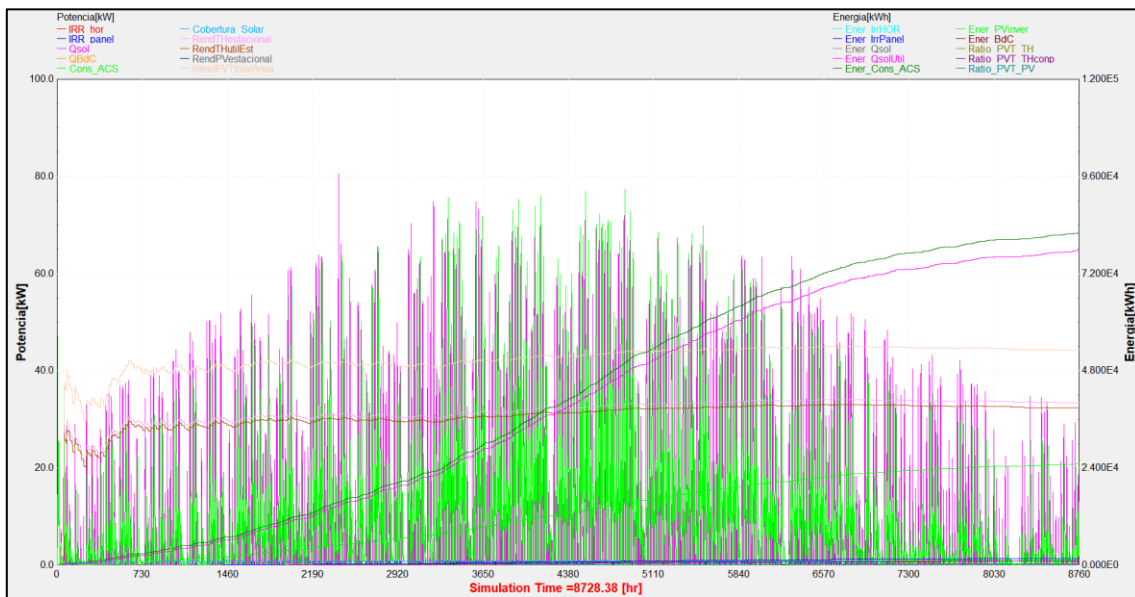


Ilustración 23: Resultados de la simulación: potencia y energía [Resultado simulación]

En esta simulación se representan principalmente los valores de irradiación, calores, energías y potencias, así como otros valores que luego son necesarios para extraerlos a las hojas de cálculo de forma numérica y cualitativa. Se muestra la gráfica, pero el procesamiento de los datos ha sido realizado de forma externa en las hojas de cálculo.

Anexo II. Ficha técnica del módulo fotovoltaico

A continuación, se muestra la ficha y los datos técnicos del panel solar híbrido utilizado y proporcionado por Abora Solar, siendo público y pudiéndose consultar en la página web oficial de Abora Solar. [7]



FICHA TÉCNICA

PANEL SOLAR HÍBRIDO



El panel solar híbrido (PVT) de segunda generación fabricado por **Abora Solar** es la solución definitiva para producir agua caliente sanitaria y electricidad de manera simultánea. Gracias a la innovadora tecnología **aHTech** desarrollada por Abora, este panel ofrece un rendimiento excepcional, maximizando la absorción de la radiación solar.

El absorbedor de cobre, con su entramado de tubos en forma de enrejado, permite una circulación eficiente del medio portador de calor, transfiriendo el calor de manera óptima. Por otro lado, el laminado fotovoltaico de 72 células genera electricidad de manera paralela a la producción de energía térmica.

La cubierta transparente aislante y la carcasa metálica con aislamiento de lana de roca garantizan la minimización de las pérdidas de calor, lo que se traduce en una mayor eficiencia energética del panel. Además, la posibilidad de interconectar hasta 10 PVT en paralelo, mediante conexiones rápidas y herméticas, facilita la instalación y adaptación a diferentes necesidades.

Invierta en el futuro de la energía renovable con el panel solar híbrido de Abora Solar, la solución más avanzada y eficiente para generar agua caliente y electricidad de manera simultánea en su edificio.

VENTAJAS

 <p>Optimización del espacio</p>	 <p>Hermeticidad y estabilidad</p>	 <p>Rendimiento mejorado</p>
 <p>Montaje fácil</p>	 <p>Conexión rápida</p>	 <p>Doble producción</p>

CARACTERÍSTICAS PRODUCTO

GARANTÍAS Y COMPATIBILIDAD

- Garantía de 10 años.
- Compatible con sistemas auxiliares; bombas de calor, calderas de biomasa y calderas de gas



Fabricamos nuestro panel en su totalidad en nuestra fábrica de Zaragoza.

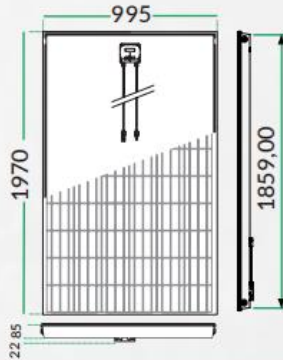
CERTIFICACIONES



- Conforme a las Normas de Producto:
- DIN EN 12975-1:2011-01; DIN EN ISO 9806:2018-04
- SolarKeymark Schema Rules (2021-07)
- DIN EN IEC 61730-1,-2:2018-10; EN IEC 61732:2018+AC:2018; IEC 61730-1,-2:2016

Ilustración 24: Hoja 1/2 de la ficha técnica [7]

Dimensiones



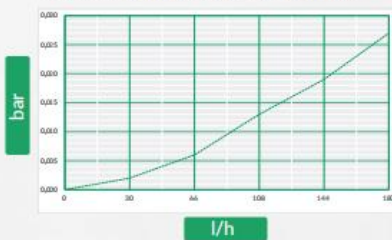
Especificaciones Eléctricas

Tipo de célula	Mono-cristalina
Potencia Nominal (W)	350W
Tensión Máxima Potencia (Vmpp)	39,18V
Corriente Máxima Potencia (Impp)	8,98A
Tensión Circuito Abierto (Voc)	48,82V
Corriente Cortocircuito (Isc)	9,73A
Eficiencia del módulo (%)	17,8
Tolerancia de Potencia (W)	+/- 4%
Tensión Máxima del Sistema	DC 1000V (IEC)
Backsheet	Negro
Coefficiente de temperatura de Pmpp	-0,36%/°C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0,28%/°C
Coefficiente de temperatura de Isc	+0,06%/°C
Corriente Inversa máxima	15A
Temperatura NOCT	45+/- 2 °C

Condiciones de prueba estándar STC: AM 1.5, Irradiación 1000 W/m², temperatura de la célula 25 °C.

Pérdida de carga

Caída de presión: T° max: 20,13 °C / T° min: 19,39 °C



Polligono Malpica, Calle C, Parcela 102-B Nave, 50016 Zaragoza (España)
 info@abora-solar.com / +34 876 24 70 96
 www.abora-solar.com

Especificaciones Generales

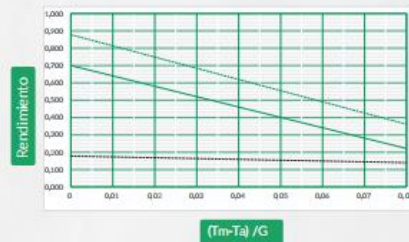
Largo x Ancho x Espesor	1970 x 995 x (85+22) mm
Área Total	1,96m ²
Área de Apertura	1,88m ²
N° células	72
Peso	50 kg
Vidrio Frontal	3,2 mm, templado
Marco	Aluminio
Protección Caja de Conex.	IP65
N° Diodos	3 diodos
Dimensiones de célula	156 x 156 mm
Tipo de conexión FV / Longitud cables	Solarlok PV4/ 1m

Especificaciones Térmicas

Rendimiento óptico	0,7
Coef. Pérdidas Térmicas, a1	5,98W/m ² .K ²
Coef. Pérdidas Térmicas, a2	0,00W/m ² .K ²
Volumen líquido interior	1,78L
Temperatura de estancamiento	126°C
Num. Conexiones hidráulicas	4 Conexiones
Medida Conexión hidráulica	Conexión rápido
Presión máxima admisible	10bar
Caudal nominal	60L/h

Condiciones de prueba estándar STC: AM 1.5, Irradiación 1000 W/m², temperatura de la célula 25 °C.

Curva de rendimiento



○ Rendimiento térmico
 ○ Rendimiento total híbrido
 ◻ Rendimiento fotovoltaico

*Reservado el derecho de modificaciones técnicas sin previo aviso.

Ilustración 25: Hoja 2/2 de la ficha técnica [7]

Bibliografía.

- ¹ Abora Solar, Advanced Solar. 2024. Página Web Oficial de la empresa.
<https://abora-solar.com/panel-solar-hibrido/>
- ² Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Junio-2024. CTE – Código Técnico de la Edificación DB-HE Documento Básico del Ahorro de Energía.
<https://www.codigotecnico.org/>
- ³ Keyter. (2024). *Enfriadoras y bombas de calor*
<https://www.keyter.com/es/enfriadoras-y-bombas-de-calor/>
- ⁴ International Renewable Energy Agency. IRENA (2022) Renewable Power Generation Costs in 2021.
<https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>
- ⁵ Luis Ini. (Agosto 2023). Según IRENA, en 2022 el LCOE de los fotovoltaicos disminuyó un 3%. PV Magazine.
<https://www.pv-magazine.es/2023/08/30/segun-irena-en-2022-el-lcoe-de-los-proyectos-fotovoltaicos-a-gran-escala-disminuyo-un-3/>
- ⁶ IDEA & ASIST. (Marzo 2023). *Guía de rehabilitación de instalaciones solares térmicas N.º 27*. IDEA.
https://idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/GuiaRehabilitacionSolarTermica_IDAE-ASIT_v0.00_20230317.pdf
- ⁷ Abora Solar. (Junio 2024). *Ficha técnica del panel solar híbrido aHTech Versión 2*.
https://abora-solar.com/wp-content/uploads/2024/06/FT-panel_ES_v2_240619.pdf
- ⁸ Jorge Ainsa (Junio 2023). *Células solares con tecnología PERC*. Monsolar noticias.
<https://www.monsolar.com/blog/celulas-solares-con-tecnologia-perc/>
- ⁹ Autor desconocido. (Julio 2024). *La tecnología detrás de las celdas solares MBB, SMBB y OBB*. MaySun Noticias.
<https://www.maysunsolar.es/blog/la-tecnologia-detras-de-las-celdas-solares-mbb-smbb-y-Obb>
- ¹⁰ Gobierno de España. (2021). Plan Nacional Integrado de energía y Clima – PNIEC 2021 -2030 (Real Decreto 178/2021). Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico
<https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.html>
- ¹¹ Ministerio de transportes, Movilidad y Agenda Urbana (n.d.). Documento de ahorro de energía. Código Técnico de la Edificación.
<https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>
- ¹² University of Wisconsin-Madison. (2024). TRNSYS Simulation Studio (Version 19) [Software]
<https://www.trnsys.com/>

- ¹³ Alejandro del Amo. (Agosto 2024). Sistemas que combinan Paneles Solares híbridos (PVT) y Bomba de Calor (BdC). Calor y frío, portal sectorial de las instalaciones.
<https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/energia-solar/sistemas-combinan-paneles-solares-hibridos-pvt-bomba-calor-bdc.html>