



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN COLECTOR SOLAR**

**DE AIRE CON MATERIALES RECICLADOS**

**Autor:**

**Raposo Cabello, Rubén**

**Tutor:**

**Tejero González, Ana**

**Departamento:**

**Ingeniería Energética y  
Fluidomecánica y Motores  
térmicos.**

**Valladolid, marzo 2018.**



## Agradecimientos

*Me gustaría expresar mi agradecimiento a Ana Tejero González, tutora de este proyecto, por su paciencia y disposición en todo momento a ayudarme y guiarme durante la realización del mismo.*

*También, agradecer al resto de personal del laboratorio por haber facilitado mi integración y comodidad, como Eloy o Julio y, al resto de trabajadores de la universidad de secretaría y limpieza, por atenderme siempre con una sonrisa.*

*Expresar mi gratitud a mis compañeros de clase, con los que he compartido alegrías, penas, comprensión y desahogos.*

*Un grato recuerdo a mi pareja, amigos y grupo scout, por animarme a lo largo de estos años.*

*Por último y más importante, deseo agradecer a mi familia, en especial a mis padres, todo el apoyo transmitido durante todos estos años transcurridos hasta la finalización de mi carrera.*

*A todos ellos, gracias por confiar en mí y haber estado a mi lado.*



## Resumen

La aplicación térmica proveniente de la energía solar, usando como fluido el aire, muestra beneficios por la sencillez de instalación e independencia de estructura en edificios, también por el poco riesgo de sobrecalentamiento y fugas. Gracias a estas características, los colectores solares térmicos de aire son una buena solución para cubrir las cargas de ventilación en estaciones frías. No obstante, bastantes soluciones de eficiencia energética en edificios pierden su propósito, al no tener en cuenta costes energéticos y económicos de la instalación. Pretendiendo solventar esto, se ha diseñado, construido y analizado, un captador solar de aire reutilizando y reciclando materiales usados y desechados cotidianamente. Para el proyecto, se recogen resultados obtenidos de la experimentación del prototipo ante diferentes situaciones exteriores, midiendo o calculando: irradiación, temperatura y velocidad del viento del ambiente, temperatura y humedad a salida y entrada del captador, así como caudal de aire y capacidad de calentamiento generada.

**PALABRAS CLAVE:** Captador Solar de Aire, reutilización de materiales, ventilación, eficiencia energética.

## Abstract

The thermal application from solar energy, using air as fluid, shows benefits in the simplicity of installation and independence of structure in buildings, also for the low risk of overheating and leaks. Thanks to these characteristics, the solar thermal collectors of air are a good solution to cover the loads of ventilation in cold stations. However, many energy efficiency solutions in buildings lose their purpose, by not considering energy and economic costs of the installation. Pretending to solve this, a solar collector of air has been designed, built and analysed, reusing and recycling used and discarded materials daily. For the project, results obtained from the experimentation of the prototype against different external situations are collected, measuring or calculating: irradiation, temperature and humidity at the collector's exit and entrance, as well as air flow and capacity of generated heating.

**KEYWORDS:** Solar Thermal Collector of Air, reuse of materials, ventilation, energy efficiency.



# ÍNDICE



## ÍNDICE DE LA MEMORIA

Objetivos .....	1
Contenidos .....	5
Capítulo I – Introducción.....	11
Capítulo II – Estado del arte .....	33
Capítulo III – Dispositivo experimental .....	59
Capítulo IV – Resultados y discusión .....	99
Capítulo V – Fundamentos del ciclo de vida y Estudio económico .....	129
Bibliografía .....	149
Anexos .....	159



# OBJETIVOS



### Objetivos del proyecto

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado es comprobar la viabilidad de funcionamiento, sin fin comercial, de un colector solar térmico de aire construido con elementos reciclados.

Se definen además varios objetivos específicos para la consecución del general:

- Situar el marco de estudio del proyecto en el contexto energético global, identificando los puntos de actuación del mismo.
- Conocer las principales aplicaciones y usos de los colectores solares térmicos de aire, conociendo el mercado actual y orientándolo hacia las políticas de eficiencia energética.
- Diseñar y construir un colector solar de aire bajo las particularidades de las condiciones de trabajo.
- Estudiar la correlación de parámetros ambientales respecto al funcionamiento del colector.
- Comprobar la efectividad del prototipo.
- Situar las bases del efecto ambiental producido por el prototipo mediante un análisis aproximado del ciclo de vida.
- Conocer la distribución de costes para el estudio económico del proyecto.
- Analizar futuras líneas de trabajo a partir de los resultados y conclusiones.



**CONTENIDOS**

**Y**

**FORMATOS**



# Contenidos

## Capítulo I - Introducción

En este capítulo se describe la problemática energética a nivel mundial mediante los datos del consumo energético en cuanto a crecimiento y distribución y en cuanto a las políticas de actuación actuales.

Se estudia la situación energética para un contexto de edificación, calidad de aire y ventilación, siendo este el punto de vista de mayor interés para la aplicación de este proyecto.

## Capítulo II – Estado del arte

Aquí se desarrolla el uso de la energía solar térmica de aire en colectores, explicando el fundamento de la energía solar térmica, comparando las ventajas de los posibles fluidos de trabajo y comentando las principales aplicaciones de esta. También se muestra una calificación posible de los colectores solares de aire y se ejemplifica la oferta actual de los mismos con varios casos.

Por último, se enseñan captadores realizados con materiales reciclados o en países en vías de desarrollo que puedan compartir las líneas de trabajo de este proyecto.

## Capítulo III – Dispositivo experimental

Se explica, respecto a la construcción del equipo, en qué está fundamentado y las fases llevadas a cabo para alcanzar el prototipo final.

También se expone los factores considerados en el diseño de experimentos y lo que se ha pretendido medir.

Se ha incluido una descripción de los elementos de medida, los dispositivos utilizados y su correspondiente colocación en el sistema y hábitat de trabajo.

Por último, se expone el calendario de experimentos con las pertinentes características en cada día de ensayo.

## Capítulo IV – Resultados y discusión

En este capítulo se recogen los principales resultados experimentales de los diferentes estudios realizados a lo largo de la temporalidad del proyecto con las justificaciones y figuras correspondientes.

### Capítulo V – Análisis del ciclo de vida y estudio económico

Para este capítulo se explica y se realiza un análisis del ciclo de vida del prototipo construido con las especificaciones necesarias. También se efectúa un estudio económico estimado de todo el proyecto, desglosando los costes directos e indirectos, así como un análisis temporal del mismo.

### Conclusiones y trabajos futuros

Para finalizar con el desarrollo del proyecto se recogen las conclusiones principales del mismo y, adicionalmente, se establecen unas posibles líneas de trabajo futuras.

### Bibliografía

En este apartado se recogen las referencias de libros, artículos de revistas, tesis, trabajos de fin de carrera, etc., por orden de aparición en el texto, [Orden de aparición].

También se recogen las referencias a normativas de organismos oficiales, ordenadas estas por orden de aparición en el texto, [N-Orden de aparición].

Las referencias a páginas web se ordenarán por orden de aparición en el texto, [W-Orden de aparición].

### Anexos

Aquí se recoge la información complementaria al desarrollo del TFG.

Para los capítulos I, II, III, IV y V y los apartados de Bibliografía y Anexos se incluye un índice numerado al principio de cada capítulo o apartado.

### Formatos

#### Figuras

Las figuras se han numerado con cuatro números en esta disposición: **\_.\_.\_.\_.**

El primer espacio se corresponde con el número de capítulo en el que se encuentra en números romanos (I, II, III, IV o V). Para el segundo, se sitúa el número del apartado principal del capítulo (1, 2, 3, 4, ...), el tercer espacio se corresponde con el número del subapartado del apartado principal del capítulo (1, 2, 2, 4, ...). El último, es el orden de aparición en el documento dentro del subapartado en el que se encuentre la figura.

La referencia de la figura se sitúa debajo de la misma, enunciando que es una figura.

Por ejemplo: *Figura IV.2.3.2 TEXTO*, se correspondería con una figura del cuarto capítulo de la memoria (IV), en el segundo apartado principal del mismo (2), dentro del tercer subapartado del apartado principal (3), y cuyo orden de aparición sería la posición dos (2).

La lista de relación de figuras se realiza por capítulo, al final de la redacción del mismo. Siempre y cuando haya figuras en el capítulo.

#### Tablas

Las tablas se han numerado con cuatro números en esta disposición: **\_.\_.\_.\_.**

El primer espacio se corresponde con el número de capítulo en el que se encuentra en números romanos (I, II, III, IV o V). Para el segundo, se sitúa el número del apartado principal del capítulo (1, 2, 3, 4, ...), el tercer espacio se corresponde con el número del subapartado del apartado principal del capítulo (1, 2, 2, 4, ...). El último, es el orden de aparición en el documento dentro del subapartado en el que se encuentre la tabla.

La referencia de la tabla se sitúa encima de la misma, enunciando que es una tabla.

Por ejemplo: *Tabla V.1.3.1 TEXTO*, se correspondería con una tabla del quinto capítulo de la memoria (V), en el primer apartado principal del mismo (1), dentro del tercer subapartado del apartado principal (3), y cuyo orden de aparición sería el primero (1).

La lista de relación de tablas se realiza por capítulo, al final de la redacción del mismo. Siempre y cuando haya tablas en el capítulo.

### Ecuaciones

Las ecuaciones se han numerado con cuatro números en esta disposición:

--:--

El primer espacio se corresponde con el número de capítulo en el que se encuentra en números romanos (I, II, III, IV o V). Para el segundo, se sitúa el número del apartado principal del capítulo (1, 2, 3, 4, ...), el tercer espacio se corresponde con el número del subapartado del apartado principal del capítulo (1, 2, 2, 4, ...). El último, es el orden de aparición en el documento dentro del subapartado en el que se encuentre la ecuación.

La referencia de la ecuación se sitúa al lado derecho de la misma, con la letra E y un guion delante de la numeración.

Por ejemplo: *E-IV.3.3.6 TEXTO*, se correspondería con una ecuación del cuarto capítulo de la memoria (IV), en el tercer apartado principal del mismo (3), dentro del tercer subapartado del apartado principal (3), y cuyo orden de aparición sería el sexto (6).

La lista de relación de ecuaciones se realiza por capítulo, al final de la redacción del mismo. Siempre y cuando haya ecuaciones en el capítulo.

### Unidades

Las unidades del documento se encuentran siguiendo las normas establecidas por el Sistema Internacional. A la hora de posibles representaciones numéricas, se ha seguido dicha norma, salvo que se especifique para cada caso particular.

**CAPÍTULO I:**

**INTRODUCCIÓN**



## Contenidos del capítulo I

<i>I.1 Problemática energética a nivel mundial .....</i>	<b>15</b>
I.1.1 Consumo energético: crecimiento y distribución .....	15
I.1.2 Políticas de actuación y fuentes de energía.....	18
<i>I.2 Contexto energético en la edificación y calidad de aire .....</i>	<b>22</b>
I.2.1 Urbanización y uso residencial.....	22
I.2.2 Eficiencia energética en la edificación.....	23
I.2.3 Climatización: ventilación y calidad del aire.....	26
Calidad del aire.....	27
Ventilación.....	27



## I.1 Problemática energética a nivel mundial

### I.1.1 Consumo energético: crecimiento y distribución

En las últimas décadas ha tenido lugar un crecimiento masivo del consumo energético a nivel global, esto se ve reflejado comparando el área (equivalente al consumo de energía) entre la figura I.1.1.1 para el año 1973 y la figura I.1.1.2 para el año 2015.

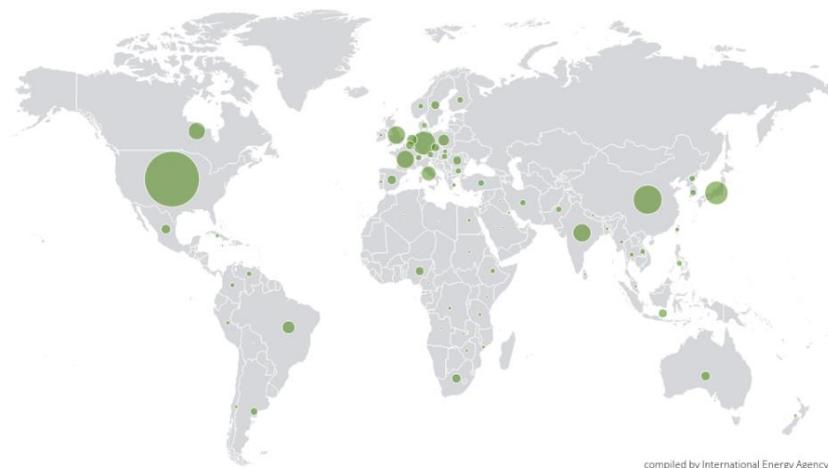


Figura I.1.1. 1 Consumo energético a nivel mundial 1973 (fuente: IEA<sup>1</sup> datos Energy Balance © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

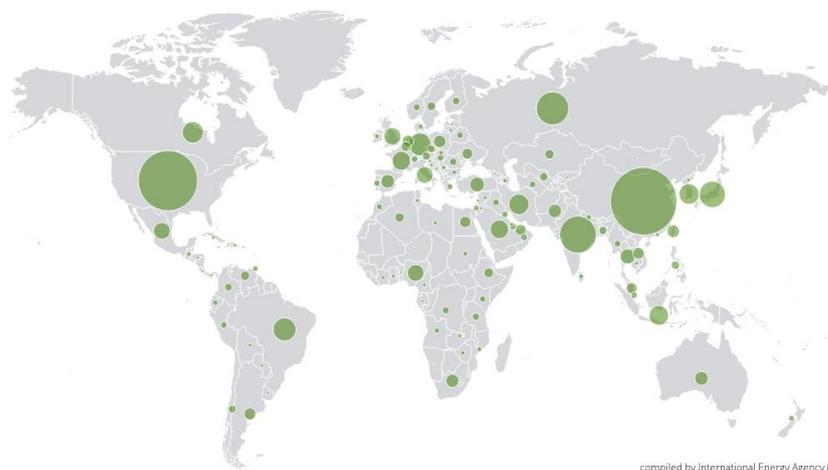


Figura I.1.1. 2 Consumo energético a nivel mundial 2015 (fuente: IEA datos Energy Balance © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Este crecimiento es debido a dos causas principales: un aumento poblacional más que notorio y al incremento de la necesidad energética diaria,

---

<sup>1</sup> IEA: International Energy Agency en inglés. Agencia Internacional de la Energía en castellano. Su función consiste en garantizar energía confiable, asequible y limpia para sus 29 países miembros y más. Con cuatro áreas principales de enfoque: seguridad energética, desarrollo económico, conciencia ambiental y compromiso en todo el mundo.

principalmente esto último, por las sociedades primermundistas. Siendo los máximos consumidores China (1920 Mtep<sup>2</sup>), Estados Unidos (1520 Mtep), India (578 Mtep), Rusia (457 Mtep) y Japón (291 Mtep) [1].

También se evidencia el desigual consumo energético en según qué zonas geográficas, al margen de la mínima presencia de consumo en territorios poblacionalmente desérticos, el mayor porcentaje del consumo de la energía se establece en países que ya están desarrollados. Lo que también se observa para las zonas que se encuentran en vías de desarrollo es que el consumo crece con mayor pendiente, al menos en los últimos años registrados. Esta idea se ve reflejada en la siguiente comparativa entre países con un nivel de población similar y su consumo de energía en Mtep.

Comparativa República del Congo–Finlandia, 5 millones de habitantes en la figura I.1.1.3.

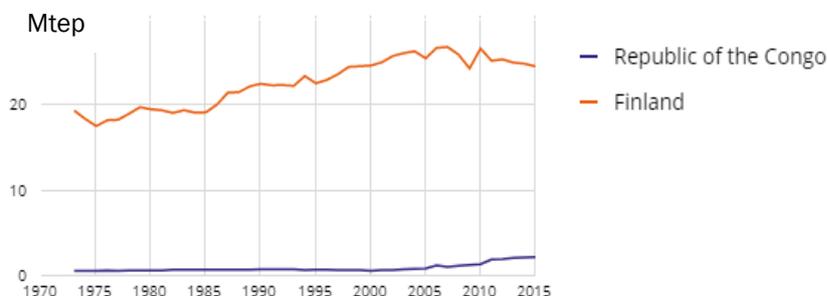


Figura I.1.1. 3 Evolución de la energía consumida comparativa 5 millones habitantes (fuente: IEA datos Energy Balance © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Comparativa Argelia–Polonia, 38,5 millones de habitantes en la figura I.1.1.4.

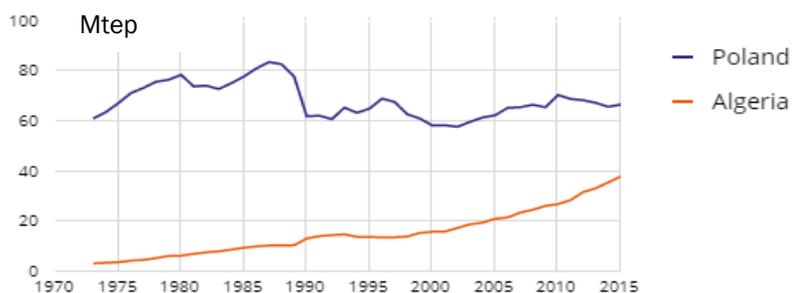


Figura I.1.1. 4 Evolución de la energía consumida comparativa 38,5 millones habitantes (fuente: IEA datos Energy Balance © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

<sup>2</sup> Mtep: Millones de toneladas equivalentes en petróleo.

Comparativa Kenia-España, sobre 45 millones de habitantes en la figura I.1.1.5.

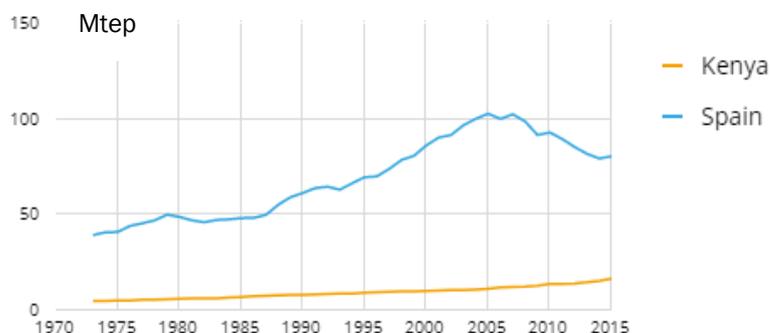


Figura I.1.1. 5 Evolución de la energía consumida comparativa 45 millones habitantes (fuente: IEA datos Energy Balance © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Tal y como era de esperar, se concluye que una sociedad avanzada, al menos económicamente hablando, está directamente relacionada con un consumo energético elevado. Situación reflejada a nivel mundial en la figura I.1.1.6.

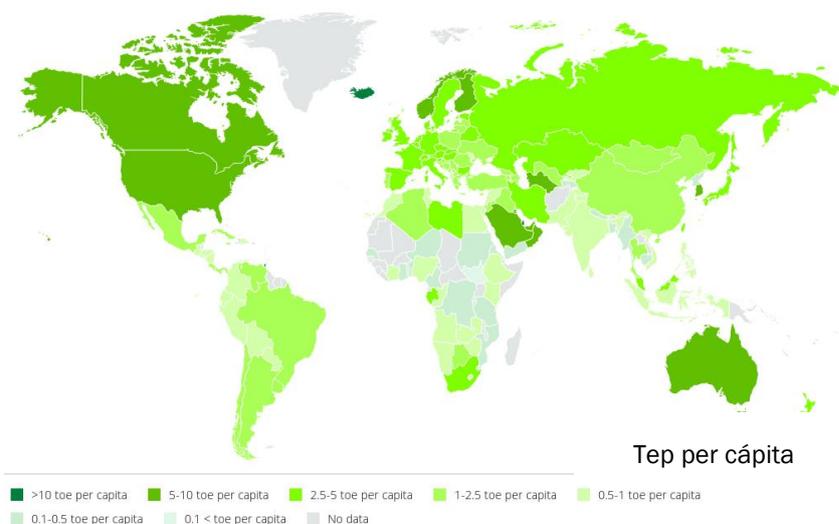


Figura I.1.1. 6 Consumo per cápita a nivel mundial (fuente: IEA datos Energy Indicators © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Se encuentran cuatro zonas principales de alto índice: los países nórdicos, Estados Unidos y Canadá sería otra, luego Australia como única potencia en Oceanía y, la agrupación de países árabes productores de petróleo, como Arabia Saudí o Qatar. Por otro lado, se encuentran gran parte de África, otro tanto de Oceanía y la costa oeste de Sudamérica, como los menos consumidores per cápita.

### I.1.2 Políticas de actuación y fuentes de energía

En el gráfico correspondiente a la figura I.1.2.1, se aprecia las fuentes de consumo de la energía a nivel global:

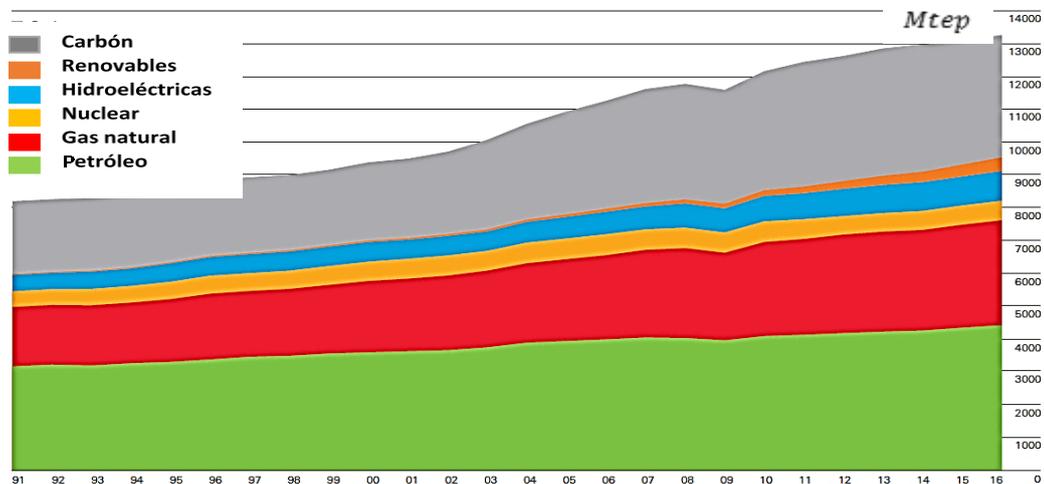


Figura I.1.2. 1 Evolución global del consumo en Mtep [2].

El consumo energético a nivel mundial sigue creciendo, este hecho por sí solo no es negativo, ya que, vistas las comparativas anteriores, esto acarrearía una mejora, al menos en cuanto a calidad de vida y nivel industrial para la sociedad.

Se evidencia la dependencia a las energías con origen fósil, siendo estos los recursos más limitados, el gas natural, el petróleo y el carbón constituyen hoy en día alrededor del 85% del consumo mundial [2], esto es en números: 11.354 Mtep de las 13.276 Mtep que se consumen en el mundo. No es solo que estas fuentes estén destinadas a agotarse, sino que el uso de estas una vez refinadas (carbón y petróleo), provoca una gran contaminación, perjudicial para la calidad del aire, nuestra salud y el medio ambiente y, a la vez, propicia un aumento del calentamiento global. Otro problema son las limitadas fuentes de este tipo de energías. Todo esto hace de esta situación algo insostenible y perjudicial para la vida a medio y largo plazo.

También se aprecia que el crecimiento en cada año ha sido siempre positivo salvo en la crisis mundial del 2008, en el que se observa un pico descendiente, hecho puntual, ya que la tendencia en los años posteriores ha seguido creciendo. En los dos últimos años el crecimiento ha sido de menor porcentaje de lo que venía siendo, pero positivo y en torno a 1% [2].

Por otro lado, y aunque el porcentaje sea apenas significativo (sobre un 3,15%) [1], es importante notificar el aumento del consumo de energías renovables, que viene creciendo año tras año y que será la futura base del consumo energético cuando los consumibles fósiles lleguen a su fin.

Hay que notificar que los países emergentes o subdesarrollados son los que están creando un mayor índice de crecimiento, tanto demográfico como de consumo energético, mientras que, en general, los países de la OCDE<sup>3</sup> están frenando considerablemente su crecimiento de población y, su consumo, se está estabilizando, estancando o decreciendo, no por una crisis energética, sino por las medidas que estos países miembros están implementando desde años atrás, soluciones que se podrían resumir principalmente en:

- Mejora de la eficiencia energética en los tres principales sectores del consumo energético: residencial (20%), transporte (35%) e industria (24%) [1].
- Reducción del uso de las fuentes de energía provenientes de carbón y petróleo en favor del desarrollo de fuentes de energías limpias y renovables.

No obstante, y a pesar del compromiso y la intención de cumplir con estas premisas de la COP21<sup>4</sup>, sigue siendo necesaria una mayor conciencia social y política, pues sigue destacando negativamente la gran cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>, en 2015 las emisiones de este elemento alcanzaron las 32,3 giga toneladas, siendo los principales países o regiones responsables: China (28%), Estados Unidos (15%), la Unión Europea en conjunto (10%), India (6%) y Rusia (5%) [1], casi todos ellos, miembros de la OCDE o trabajando en adhesión y cooperación con dicha organización [W-1]. En la figura I.1.2.2 se refleja el mapa de emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita.

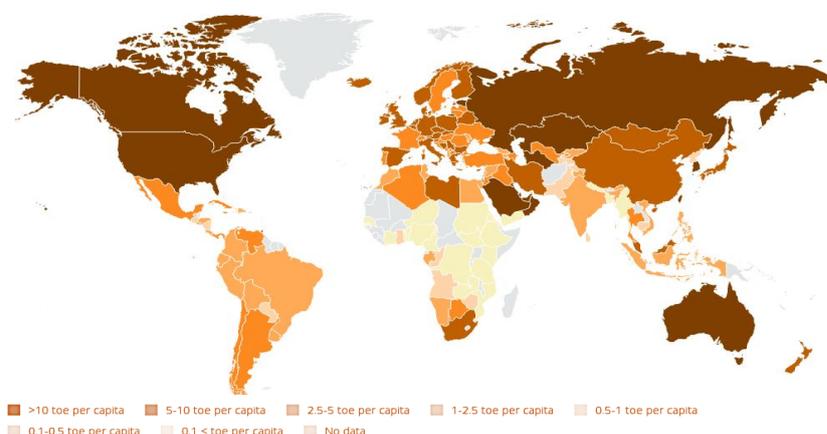


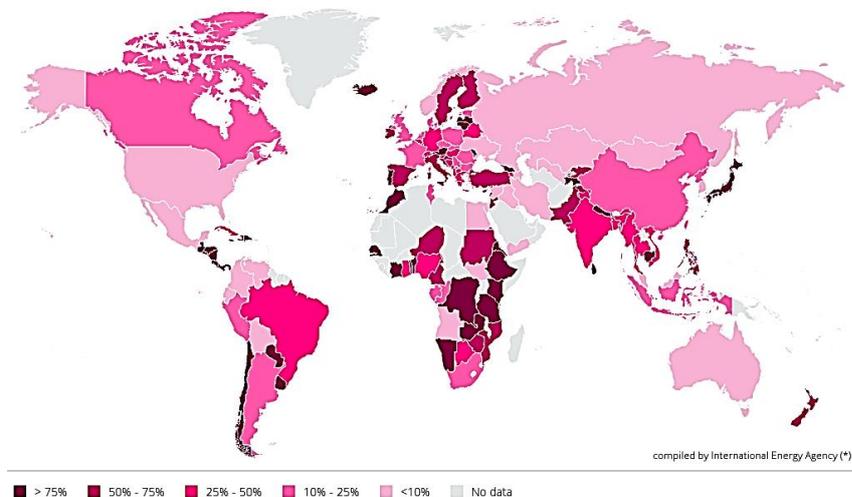
Figura I.1.2.2 Emisión de toneladas de CO<sub>2</sub> per cápita a nivel mundial (fuente: IEA datos CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

<sup>3</sup> OCDE: Organization for Economic Co-operation and Development. Organización para la cooperación y el desarrollo económicos, con 34 países miembros y que tiene como objetivo promover medidas que favorezcan el bienestar económico, social y medioambiental.

<sup>4</sup> COP21: 21ª Conferencia internacional contra el cambio climático realizada en París y en la que se realizó un acuerdo sobre los métodos para reducir el calentamiento global.

De la que se obtiene la siguiente información: los países del Medio Oriente tienen los niveles más altos de emisiones, mientras que los países de África, que usan grandes cantidades de leña (considerada como no emisor), muestran los niveles más bajos. No es casualidad que los países con grandes cantidades de carbón y petróleo en su mezcla energética tengan el nivel más alto de emisiones, mientras que, los países con una gran proporción de energías renovables y desarrollo nuclear poseen el nivel más bajo.

Lo mismo sucede con la otra premisa, aún hace falta mejorar, sobre todo por parte de los países más productores de energía. En la figura I.1.2.3 se ve reflejado el porcentaje de producción de energía renovable a nivel global.



*Figura I.1.2. 3 Porcentaje de las energías renovables en la producción de energía a nivel mundial (fuente: IEA datos Renewables © OCDE / IAE 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))*

China apenas tiene un 10% de energías renovables en su producción, Estados Unidos un 7% y Rusia un 1%, países que son los máximos productores de energía del mundo. Destaca que países vías de desarrollo logren alcanzar porcentajes del 100% como Honduras, Benín o Namibia.

Otro problema que se encuentra, es el de la poca autosuficiencia energética de los países subdesarrollados, lo ideal es que todo país sea capaz de gestionar su propio suministro primario energético, velar por la integridad de sus infraestructuras energéticas y ser capaz de cumplir la demanda de su población, esto es conocido como seguridad energética, que unido a los conceptos de igualdad energética (suministro asequible) y sostenibilidad

ambiental forman el “trilema energético” que desde el CME<sup>5</sup> están tratando de cumplir en todo el mundo [3].

Por otro lado, y en cuanto al resumen ejecutivo del informe de la Agencia Internacional de la Energía [4], se destacan los siguientes puntos:

- Las tecnologías renovables y limpias se expanden a un ritmo rápido y, a su vez, se reduce el coste de dichas tecnologías. Hay varios ejemplos a destacar como la energía solar fotovoltaica, cuyo crecimiento en capacidad en 2016 ha sido superior, comparado con cualquier otro tipo de generación y, cuyos costes, se han rebajado en un 70%, por otro lado, los costes de la energía eólica y de las baterías también se han rebajado, en un 25% y 40% respectivamente.
- La energía se está electrificando, en el 2016 los gastos de todo el mundo de los productos derivados del petróleo se igualaron aproximadamente a los gastos de consumo de la electricidad.
- En cuanto al mayor consumidor energético del mundo, China, hay un movimiento hacia los servicios en este país, económicamente hablando, y, también, una mezcla energética para que la energía sea más limpia.
- El mayor productor de fuentes de energía fósiles como el petróleo y el gas, Estados Unidos, se asienta en esa primera posición, con precios aún más bajos gracias a las formaciones compactas de gas y a la resiliencia del gas de esquisto.

Como primera justificación a la realización del proyecto y, como conclusión a la situación energética global, se puede considerar que un colector solar de aire con elementos reciclados se ajusta a las líneas de trabajo energéticas actuales y futuras, encaminadas todas ellas hacia una vía capaz de reducir el consumo energético no sostenible, con el menor coste económico posible y sin que se vea afectada la calidad de vida de la sociedad.

---

<sup>5</sup> CME: Consejo Mundial de la Energía, institución del sector de la energía, acreditada por la Organización de las Naciones Unidas, que informa y sirve de guía a las estrategias del sector de la energía a nivel internacional, nacional y regional.

## I.2 Contexto energético en la edificación y calidad de aire

### I.2.1 Urbanización y uso residencial

A nivel global hay más población asentada en un entorno urbano que en uno rural, en el año 1950 el porcentaje de residencia urbana era del 30%, creció hasta el 54% para el 2014 y se espera que esta tendencia siga así, hasta llegar a un 66% para 2050. Las regiones más urbanizadas del planeta son: Norte América, América Latina y el Caribe, superando el 80%, por detrás sigue Europa con un 73%. Estos datos contrastan con los de Asia y África, un 48 y 40% respectivamente, más aún, sabiendo que el 90% de la población mundial en zona rural reside en estos dos continentes. Las previsiones indican que el mundo continuará urbanizándose, sobre todo en los países en vías de desarrollo, cuyo ritmo de urbanización es más elevado, por lo tanto, para conseguir un desarrollo sostenible a nivel global, se necesitan políticas integradas en dicho desarrollo mejorando las vidas de los habitantes urbanos sin olvidarse de los rurales [5].

El uso residencial supone una parte clave en el consumo de energía a nivel mundial, por ejemplo, en España el porcentaje es del 17% y en la Unión Europea del 25% [6], que se aproxima al 20% del porcentaje medio mundial [1]. No obstante, este porcentaje varía en función de las condiciones de cada país, como se ilustra en la figura I.2.1.1

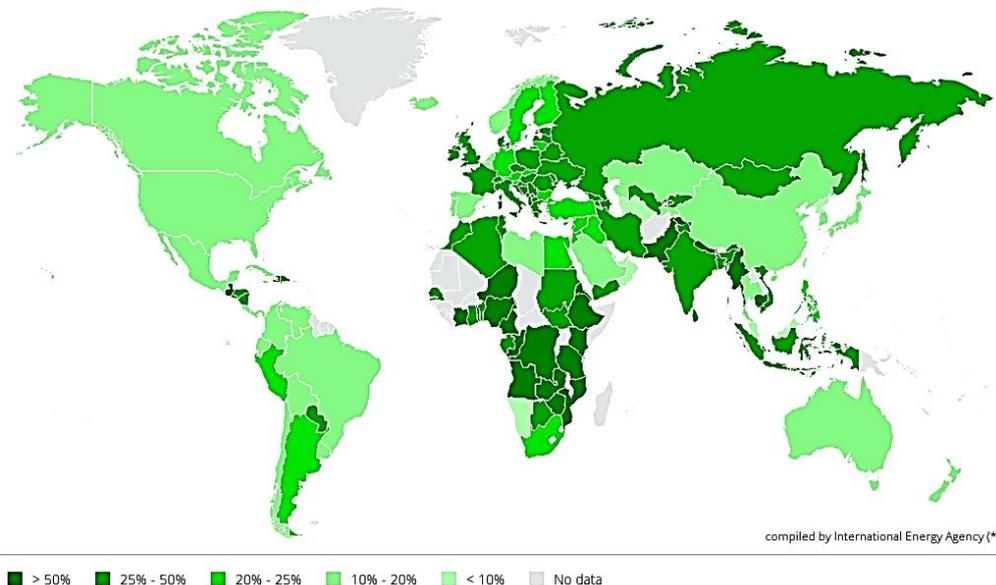


Figura I.2.1. 1 Porcentaje de la energía dedicado a uso residencial a nivel mundial (fuente: IEA datos Energy Balance © OCDE / IAE 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics).

Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c)

Para los países más consumidores, la cifra es del 33% en India, en Rusia del 25%, en Estados Unidos del 17% y para China del 16%. Este porcentaje aumenta notoriamente para países tercermundistas, repartidos principalmente en la zona de América central, África central y en el centro sur asiático. De cada zona geográfica destacan respectivamente Haití con un 75%, Etiopía con un 91% (porcentaje más alto del mundo) y Nepal con un 84%.

Por otro lado, hay que destacar el porcentaje de los países nórdicos o bálticos, que, en comparación con el que se esperaría al tratarse de países con temperaturas muy frías y con menos incidencia de luz solar que el resto, es relativamente pequeño. Por lo general, de un 20%, lo que indica que la energía implementada en uso residencial para dichos países se realiza de forma eficiente.

Al margen de la correlación entre países en vías de desarrollo y su alto porcentaje en uso residencial del consumo de energía, se evidencia de nuevo que, este sector, es uno de los más importantes a nivel mundial.

### 1.2.2 Eficiencia energética en la edificación

El conjunto de la edificación simboliza una porción entre el 25 y 50% respecto al consumo total de energía primaria, este porcentaje varía en función de la situación geográfica, posibilidades de acondicionamiento térmico, uso de energías renovables, etc., por lo que cualquier tipo de acto de racionalidad de energía en este sector proveerá beneficios [7].

Para España, las fuentes de energía que posteriormente se consumirán en la edificación están repartidas como se especifica en la figura 1.2.2.1 [6].

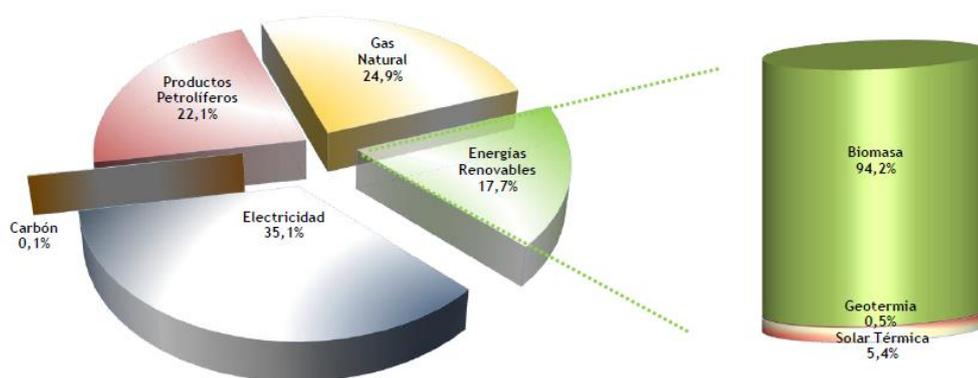


Figura 1.2.2. 1 Distribución de las fuentes de energías consumidas en la edificación en España [6].

En cuanto a la legislación presentada hace tiempo, a la vigente y a la que se presentará en el futuro, se atenderán aspectos como la calidad energética, la eficiencia o la certificación energética en edificios [7].

Hay varios factores que consiguen concretar las características y la disposición al alza del consumo energético en este sector, como pueden ser el aumento del número de hogares, aumento de población, mayor confort requerido (depende de: temperatura, humedad del aire, ruido, ventilación y purificación del aire [8]) y, a consecuencia de esto último, un aumento del equipamiento. Se espera que sea más representativo aún, gracias principalmente al aumento de la capacidad de poder adquisitivo y de la mejora del nivel de vida [6].

Las importantes huellas relacionadas con el cumplimiento de las dependencias de energía de la población a nivel general y del sector residencial a nivel individual en cuanto a necesidad energética, repercusión en el medio ambiente y seguridad en el suministro, han conseguido que sea imprescindible realizar una planificación energética adecuada, en el caso de España esta planificación está basada en tres apoyos principales [6]:

- Planificación de los Sectores de Electricidad y Gas.
- Planes de Energías Renovables.
- Planificación de Ahorro y Eficiencia Energética.

No se debe hablar solo en parámetros de uso residencial, en una sociedad industrializada, como sucede con Europa, Estados Unidos, Canadá y demás miembros de la OCDE y, para un entorno urbano, actualmente inherente a dicha sociedad, el tiempo que se pasa bajo techo al día se corresponde con casi la totalidad de las horas disponibles, pues se realizan las distintas actividades diarias (estudiar, trabajar, ocio) y nocturnas (dormir) en algún inmueble. Para el caso de la Unión Europea, en 2010 el 41% del consumo total de energía se dedicaba a los edificios [9].

Siguiendo con la línea de maniobra de reducción y eficiencia energética y, con la premisa de que esto es un propósito preeminente para la política energética en la mayoría de los países, por las ya citadas crecidas del consumo energético y de la emisión de CO<sub>2</sub> en un hábitat construido[10], otro ejemplo es la Directiva Europea sobre el rendimiento energético de los edificios [11].

Eficiencia Energética es la relación entre el producto o resultado de un proceso u operación y la energía empleada para poder realizar el proceso en cuestión, para aumentar la eficiencia se debe reducir el consumo mejorando la operación [12]. Para conseguir que un edificio sea eficiente energéticamente tiene que cumplir una serie de condiciones, según el Plan de Acción para el Medio Ambiente de la Unión Europea es una prioridad el uso racional de la energía, fomentando el ahorro energético y la utilización de fuentes de energías renovables [13]. Algunos de los aspectos a nivel de edificación que pueden ayudar a conseguir este objetivo son:

- Consideración de los aspectos energéticos desde la fase inicial del diseño.

- Arquitectura bioclimática: edificio compacto e iluminación natural, uso eficaz de la energía solar pasiva.
- Aislamiento térmico fortificado, estanqueidad del aire y restricción de los puentes térmicos.
- Ventilación natural.
- Instalaciones térmicas eficientes y fáciles de usar.
- Bajo consumo de agua en sanitarios de agua y también energético para elementos y equipamiento eléctrico.
- Material de construcción que se pueda reciclar y que requieran de poca energía tanto para su producción como para su puesta en obra.

En España hay varios casos de edificios cuya eficiencia energética es muy elevada, algunos ejemplos en función de su uso son [12]:

- Vivienda: Casa Kyoto (Lleida).
- Oficina: Centro de Ciencias Pedro Pascual (Huesca).
- Centro comercial: Los Arcos (Sevilla).
- Hospital: Vigil de Quiñones (Sevilla).
- Hoteles: Playa Gaviotas (Canarias).
- Educación: Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallès (Barcelona).

Concretamente en Valladolid se encuentra el edificio Lucía, que opta a varias certificaciones, entre ellas: LEED PLATINO (leadership in Energy and Environmental Design) y calificación superior a cuatro hojas en la herramienta VERDE (GBCEspaña<sup>6</sup>). Este edificio sigue varias estrategias, muchas de ellas coincidentes con las mencionadas anteriormente de uso racional de la energía, como pueden ser [W-2]:

- Diseño Bioclimático: basado en compacidad de edificación, análisis cuidado de la incidencia solar en los huecos, refuerzo de los aislamientos en la envolvente térmica, iluminación natural con pozos de luz y diseño abierto del aparcamiento.
- Energía nula: uso exclusivo de energías renovables (fotovoltaica, geotérmica, biomasa) y, adicionalmente, un sistema de cogeneración de biomasa.
- Orientación e iluminación: aprovechando la iluminación natural, los huecos, el soleamiento y las formas del edificio.
- Recuperación de agua y gestión de residuos.

---

<sup>6</sup> GBCEspaña: organización autónoma afiliada a la Asociación Internacional, sin ánimo de lucro, "World Green Building Council", WGBC, de la cual constituye el Consejo Español. GBC España ha sido reconocida como Established Council (miembro de pleno derecho).

### I.2.3 Climatización: ventilación y calidad del aire

En los últimos años se ha constituido como un factor notorio el incremento y consumo energético de los sistemas HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), que comprende calefacción, ventilación y aire acondicionado, de hecho, es la parte del consumo de energía en edificios que más demanda tiene, es ahora mismo fundamental debido al desarrollo de la necesidad de confort térmico, se define este como “esa condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” [N-1]. En uso residencial, se corresponde en torno a la mitad del consumo total de energía, su dimensión es del doble que para el ACS (Agua Caliente Sanitaria) [10]. Para el resto de edificación no doméstica, este factor consume el 48% del consumo total de energía en el edificio [14].

En el caso de España, según se aprecia en la figura I.2.3.1, la climatización ocupa casi la mitad del consumo total y más del doble del consumo de ACS [6].

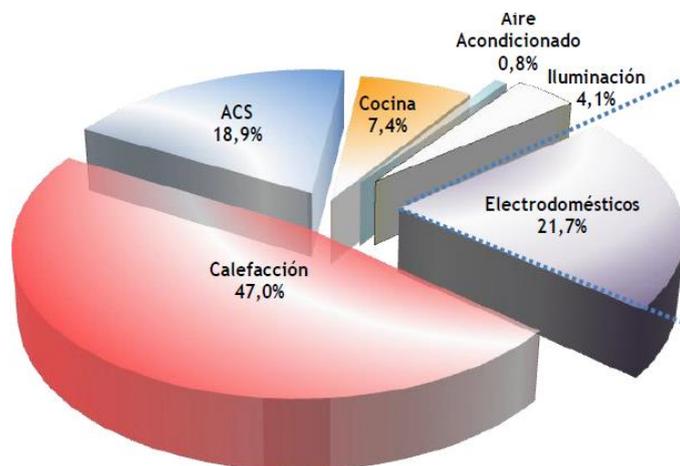


Figura I.2.3. 1 Distribución del consumo energético residencial en España [6].

Por lo tanto, para conseguir una buena calidad de vida y, para poder adaptar cualquier proceso, resulta de vital importancia realizar una adecuada climatización en los edificios. Hay que reseñar que ninguna instalación de climatización conseguirá llegar a la plena satisfacción, en cualquiera de los aspectos, para todos los usuarios de la sala climatizada. El Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI), parámetro estadístico en el que al menos las normas españolas se basan para establecer un juicio de calidad del ambiente, en el mejor de los casos (instalación de climatización de alta calidad), se encontrará entre el 5 y el 15% de insatisfechos [13].

Climatizar consiste en dotar a un habitáculo los parámetros de temperatura, humedad relativa y calidad de aire necesarios para la adecuada conservación de los objetos en el interior y el bienestar de las personas [N-2], para ello, es necesario dotar al proceso de climatización de una serie de vías y mecanismos

capaces de alcanzar esos requerimientos. En concepto, este proceso de aclimatación tiene dos objetivos principales: alcanzar el confort térmico (calefactando o refrigerando) y conseguir una buena calidad de aire, esto último se conseguirá mediante el proceso de ventilación.

### Calidad del aire

La calidad interior del aire de un edificio (Indoor Air Quality, IAQ), está sometida a distintos elementos, estos pueden ser: la calidad del aire en el exterior y el sistema de ventilación (y su diseño) junto con el del aire acondicionado, que, a su vez, estarán definidos por la eficacia, funcionamiento y mantenimiento del sistema de ventilación y, por las propiedades de las fuentes de contaminantes internas [15].

El grado de concentración de un contaminante, dentro de una estancia interior, se define como el equilibrio que existe en un balance de masas entre la formación de dicho contaminante y su respectiva velocidad de eliminación[15].

Los parámetros anteriormente mencionados que afectan en el IAQ se pueden clasificar en:

- Velocidad de contaminantes de fuentes internas: emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC), partículas y gases de combustión de quipos instalados y contaminación bacteriológica.
- Velocidad de entrada de contaminantes externas, depende del intercambio de flujo entre el interior y el exterior y del grado de concentración de los contaminantes del aire exterior.
- Eficacia de los sistemas de depuración, que va en función del caudal de aire nominal del equipo y por la misma eficacia de depuración del equipo usado, generalmente suele ser un sistema de filtros.

Para controlar el IAQ existen varios sistemas, pudiéndose dividir en: control de la fuente de contaminación y control ambiental mediante estrategias de depuración y ventilación del aire [15].

### Ventilación

Cuando se necesita que la temperatura y/o humedad de una sala sea diferente a la del ambiente exterior se emplean diferentes métodos para regularla, estos variarán en función de los recursos energéticos que se dispongan, así como de las limitaciones, necesidades y condiciones exteriores que se vean involucrados en dicho propósito. Ventilar la sala supone unas cargas térmicas y sensibles (en función de las condiciones externas), lo que se traduce en pérdida de energía. De manera general, aproximadamente el 30% de la energía entregada a los edificios se disipa en las corrientes de ventilación [16], este dato confirma que los conceptos anteriores de confort térmico y calidad de aire

están en un compromiso continuo y que conlleva un gasto energético a mayores recuperar el estado ideal necesitado.

Aprovechando algunas de las medidas del punto anterior como un correcto aislamiento del edificio, se conseguirá que para épocas cálidas el interior se caliente menos y que se tarde menos en enfriar. Para épocas frías se calentará rápidamente, ese calor se contendrá durante más tiempo y, además, se evitarán condensaciones en el interior [17]. También se evitarán fugas no deseables que limitan y empeoran la efectividad de los procesos de ventilación.

El proceso de ventilación es la operación por la cual se proporciona intencionadamente aire "limpio" (normalmente aire exterior) a un espacio y se elimina el aire viciado [16], con el objetivo de librarse de su enrarecimiento, quitando energía en forma de calor, el polvo, los olores y cualquier otro componente que pueda ser dañino o impurezas que pueda contener el aire que se encuentra encerrado en el interior [15]. La cantidad de ventilación necesaria depende de la cuantía y la naturaleza del contaminante presente en un espacio [16].

La ventilación es necesaria para proporcionar oxígeno para el metabolismo y para diluir los contaminantes metabólicos, ya sean los provocados por las personas (dióxido de carbono y olor) o los del proceso que se realice en el interior [16]. Si este proceso no se llevara a cabo, la respiración de los seres vivos del interior del local sería escabrosa y difícil de realizar, por lo que se convertiría en un impedimento de la actividad a la que está destinada el uso del local. Una buena ventilación por tanto, contribuye de forma importante a la salud y la comodidad de los ocupantes del edificio y, está caracterizada por: renovación de aire, caudal de aire, edad del aire y eficacia de la ventilación [15].

El flujo de aire que se produce a raíz del proceso de ventilación es capaz de suministrar sensaciones de frescor cuando el ambiente se encuentra en una situación calurosa, sin embargo esto puede conllevar a una situación demasiado fría, lo que puede ser un riesgo para la salud de los usuarios [15]. Adicionalmente, se puede usar para enfriar y para proporcionar oxígeno a los aparatos de combustión [16].

Ventilar es una operación que requiere de un cuidado, mantenimiento y diseño adecuado y, todos los requerimientos, con una importancia considerable, sin embargo, puede haber ocasiones en las que esta pueda ser inapropiada a causa de:

- Un suministro escaso de aire fresco debido a una elevada recirculación del aire o a la existencia de un bajo caudal de impulsión.

- Aire mal distribuido que conlleva una mezcla incompleta con el aire del exterior y se producen diferencias de presión entre las distintas zonas y estancias del edificio y una estratificación del aire.
- Incorrecta infiltración de aire por un diseño equivocado o por un mal mantenimiento del sistema de filtros.
- Humedad relativa y/o temperatura del aire extremas o fluctuante.

Para evitar esta incorrecta ventilación [13], existen varias técnicas de regulación, que se clasifican en dos grandes grupos:

- Ventilación natural.
- Ventilación mecánica.

De ambas se explica la ventilación natural, pues no necesita de ningún gasto energético y resulta más interesante de cara al desarrollo final del proyecto. Se produce cuando el proceso se beneficia de las características naturales del aire, provoca que la renovación del aire no sea siempre la misma y que varíe en función de la diferencia de temperatura o la velocidad del viento. Hay que reseñar que tanto las infiltraciones como las exfiltraciones entre las paredes de los edificios, son parte de la ventilación natural. Son factores básicos de la ventilación natural las diferencias de: altura, temperatura exterior – interior y presión, así como la acción del viento y la carga térmica.

Gracias al factor de diferencia de temperatura exterior – interior entre dos masas de aire en contacto se produce el “efecto chimenea”, provoca que el aire más frío del exterior se introduzca por los niveles con menor altura, moviendo así la masa de aire más cálido hacia un estrato superior, desde donde se elimina al exterior [15]. Respecto a este efecto se encuentran gran variedad de estudios en la literatura, en especial, para su uso en invierno [18].

Dada la importancia de la ventilación, calidad de aire y climatización dentro de una política actual de eficiencia energética y asumiendo el hecho del gran consumo mundial en edificación, se supone como situación ideal, la realización del proyecto tratado, pues un colector solar con elementos reciclados es un tipo de técnica capaz de incrementar la calidad del aire interior, mejorando a la vez el confort térmico y con una escasa o nula secuela ambiental.



### RELACIÓN DE FIGURAS

Figura I.1.1. 1 Consumo energético a nivel mundial 1973 (fuente: IEA datos Energy Balance © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Figura I.1.1. 2 Consumo energético a nivel mundial 2015 (fuente: IEA datos Energy Balance © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Figura I.1.1. 3 Evolución de la energía consumida comparativa 5 millones habitantes (fuente: IEA datos Energy Balance © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Figura I.1.1. 4 Evolución de la energía consumida comparativa 38,5 millones habitantes (fuente: IEA datos Energy Balance © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Figura I.1.1. 5 Evolución de la energía consumida comparativa 45 millones habitantes (fuente: IEA datos Energy Balance © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Figura I.1.1. 6 Consumo per cápita a nivel mundial (fuente: IEA datos Energy Indicators © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Figura I.1.2. 1 Evolución global del consumo en Mtep [2].

Figura I.1.2.2 Emisión de toneladas de CO<sub>2</sub> per cápita a nivel mundial (fuente: IEA datos CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion © OCDE / IEA 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Figura I.1.2. 3 Porcentaje de las energías renovables en la producción de energía a nivel mundial (fuente: IEA datos Renewables © OCDE / IAE 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Figura I.2.1. 1 Porcentaje de la energía dedicado a uso residencial a nivel mundial (fuente: IEA datos Energy Balance © OCDE / IAE 2015, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics). Licencia: [www.iea.org/t&c](http://www.iea.org/t&c))

Figura I.2.2. 1 Distribución de las fuentes de energías consumidas en la edificación en España [6].

Figura I.2.3. 1 Distribución del consumo energético residencial en España [6].



**CAPÍTULO II:**

**ESTADO**

**DEL**

**ARTE**



## Contenidos del capítulo II

<b>II.1 USOS DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE AIRE EN COLECTORES.....</b>	<b>37</b>
II.1.1 Fundamentos .....	37
II.1.2 Comparativa de fluidos: agua y aire .....	39
II.1.3 Aplicaciones .....	40
Climatización y acondicionamiento de edificios.....	40
Secado .....	40
<b>II.2 TECNOLOGÍAS EXISTENTES.....</b>	<b>41</b>
II.2.1 Tipos de colectores solares de aire .....	41
No poroso.....	41
Poroso .....	43
II.2.2 Oferta .....	44
<b>II.3 CAPTADORES REALIZADOS CON MATERIALES RECICLADOS O EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO.....</b>	<b>50</b>
II.3.1 Captadores solares térmicos de agua.....	50
Efecto invernadero .....	50
Efecto de cuerpo negro .....	51
Papel reflectante .....	52
II.3.2 Captadores solares térmicos de aire.....	52
Manto de piedras .....	53
Placa metálica .....	53
Latas como conductos de aire.....	54
Latas como absorbedores .....	55



## II.1 Usos de la energía solar térmica de aire en colectores

### II.1.1 Fundamentos

La fuente principal de la energía en la tierra (suelo terrestre, océano y mares y atmósfera) es el Sol, la dependencia es de más del 99,9%, todos los medios anteriores absorben la energía proveniente del astro, la transforman y/o la redireccionan, para realizar cualquier actividad del globo terrestre [19].

La energía solar surge de una fusión nuclear en el sol y, la que llega a la tierra, tiene una dimensión de 10.000 veces superior que la [20] demanda de energía primaria a día de hoy por toda la sociedad [21].

El uso y estudio de la energía solar está creciendo en las últimas décadas, principalmente porque es una fuente de energía renovable, inagotable, gratuita y respeta al medio ambiente. Puede ser aplicada en muchos campos de la actividad humana como en ingeniería, arquitectura y el diseño de las edificaciones o agricultura. En particular para España, debido a su situación geográfica y clima, tiene el ambiente perfecto para aprovechar esta energía [22].

El calor que ha sido generado por radiación solar se conoce como energía solar térmica, EST (STE siglas en inglés). Produce un rango de temperaturas que van desde los 45°C hasta más de 300°C, por lo que esta energía puede verse utilizada en los sistemas de calefacción y refrigeración, producción de vapor y generación de electricidad. Posteriormente es aplicable en un gran abanico de posibilidades a nivel de industria, comercio y edificación, siguiendo con lo anteriormente mencionado se encuentran: la minería, el sector alimenticio, la manufacturación textil, la fabricación de pulpa y papel y, la producción química [23].

La radiación que llega a la atmósfera y posteriormente a la superficie terrestre se considera radiación de onda corta, ya que es en estos valores donde se concentra la máxima emisión energética solar. Del 100% de radiación solar que llega a la atmósfera, solamente el 25% llega directamente a la superficie terrestre, otro 26% es dispersado por la atmósfera, que hace que llegue de manera difusa a la superficie terrestre, explicando así que, una zona sin sombra o sin luz solar, esté iluminada. El otro 49% no alcanza la superficie, un 19% del total es absorbido por las nubes y gases atmosféricos y el restante 30% se pierde en el espacio, un 6% dispersado por las nubes, un 20% reflejado por estas y el 4% restante es el reflejado por el suelo, esta última energía no afecta al calentamiento de la atmosfera, a la fracción de la radiación reflejada de cualquier superficie se le da el nombre de albedo. En la tabla II.1.1 se encuentran los valores típicos de albedo de varias superficies y, en la figura

II.1.1 [W-3], se encuentra la representación de la distribución de la radiación solar que llega a la atmósfera [19].

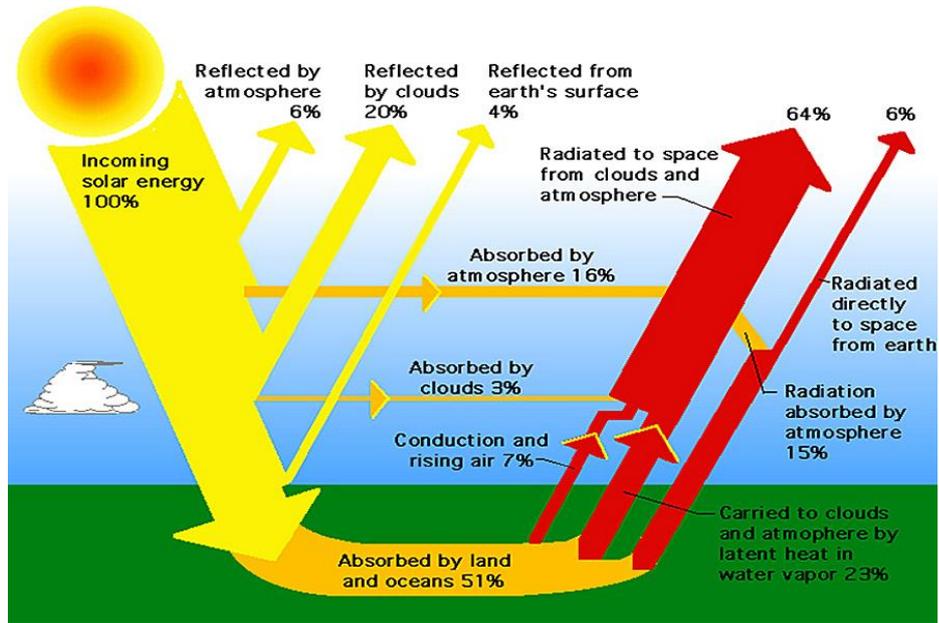


Figura II.1.1. 1 Distribución de radiación solar incidente en la atmósfera [W-3].

Tabla II.1.1. 1 Valores típicos de albedo

SUPERFICIE ALBEDO	%
Nieve fresca	80-85
Arena	20-30
Pasto	20-25
Bosque	5-10
Suelo seco	15-25
Agua (sol cerca del horizonte)	50-80
Agua (sol cerca del cenit)	3-5
Nube gruesa	70-80
Nube delgada	25-30
Tierra y atmósfera global	30

Cuando la energía solar térmica se utiliza para procesos con demanda de temperaturas bajas y medias permite obtener una eficiencia mayor [23]. Esto

es, trabajar con temperaturas que no sobrepasen los 100°C y, generalmente, para uso doméstico [24].

La energía solar térmica puede ser pasiva o activa, será del primer grupo cuando se emplee en elementos constitutivos de la instalación, como por ejemplo el muro trombe o la chimenea solar [25]. Y la activa tendrá lugar en posibles sistemas externos a la edificación, es en este grupo, donde se ubican los colectores.

Un colector solar se aprovecha de la radiación solar que le llega de manera directa, difusa y reflejada de otros cuerpos mediante la interacción de dos efectos: el de “cuerpo negro” y el “invernadero”, el primero conseguirá absorber la mayor parte de energía posible y con el segundo se evitará que esta energía se fugue una vez ganada [24]. Conseguirá calentar un fluido, generalmente agua o aire para el rango de temperaturas bajo, aprovechando dicha radiación.

### II.1.2 Comparativa de fluidos: agua y aire

La mayoría de instalaciones térmicas que emplean energía solar térmica se basan en tres sistemas de funcionamiento, sistema de colectores, sistema de distribución y sistema de almacenamiento [24]. No obstante, esta característica no es inherente a absolutamente todas las instalaciones, depende del uso final y del fluido a calentar. Si se usa agua, se tendrán estas ventajas:

- Gracias a la alta capacidad térmica, en comparación con el aire, se puede usar para almacenamiento.
- Propiedades de transferencia de calor más adecuadas, mayor densidad, lo que permite trabajar con volúmenes menores.

Para el empleo de aire, se tendrán las siguientes:

- No hay problema de corrosión.
- La presión en el interior es menor.
- No hay problema de congelación del fluido.
- Si se usa para tratar aire de ventilación o secado, se evita transferir el calor a otro fluido.
- Un sistema más compacto, sencillo y de fácil instalación.
- Las posibles fugas no se consideran un problema importante.
- El sobrecalentamiento no es un riesgo.

El material empleado en la construcción de un colector solar es semejante sea para el fluido que sea, aunque para el aire, como se ha mencionado, requiere una menor exigencia [26].

### II.1.3 Aplicaciones

Aunque es factible el empleo de colectores solares de aire para cualquier práctica, los dominios donde más se utilizan son:

- Climatización y acondicionamiento de edificios.
- Calentamiento de invernaderos.
- Secado de materia orgánica.

#### Climatización y acondicionamiento de edificios

La utilización más extendida de los colectores de aire es en el calentamiento o precalentamiento del aire usado como ventilación en épocas frías, así como en cubrir, de forma parcial o completa, la necesidad de calefacción. Mientras que para el uso de ventilación es tremendamente importante la calidad de aire que entre (puede suponer un gasto energético adicional para tratar ese aire), para la utilización en calefacción por aire el aire empleado es directamente el que pasa por el colector. También puede usarse para un intercambio calorífico entre aire y agua en calefacción por agua o mixta [26].

EL colector solar de aire también puede usarse en épocas cálidas en edificación, es decir, puede servir para un sistema de enfriamiento, suministrando el aire que pasa por el colector a una máquina de absorción, que es la que produce frío. Se asume, por lo tanto, la versatilidad del colector solar de aire en edificación [24].

#### Secado

Seguramente sea el uso más antiguo y extendido del calentamiento de aire, se consigue hacer pasar el aire caliente por la materia orgánica, generalmente es algún tipo de alimento como jamones, embutidos o cereales [27], dicho aire puede ser llevado hasta el producto de manera mecánica o por convección natural, beneficiándose de la circulación natural del aire mediante el “efecto chimenea”, mencionado ya en el capítulo anterior.

## II.2 Tecnologías existentes

### II.2.1 Tipos de colectores solares de aire

Básicamente, un colector solar de aire está compuesto por dos placas, una absorbidora y una colectora, un sistema de cobertura en la parte superior y aislamiento, distribuyéndose este por los laterales y el fondo, o parte posterior, del colector. Constituye en su conjunto una caja [26].

La clasificación de los colectores solares, incluyendo a los de aire, tiene gran variedad de formas de realizarse [28], para este proyecto se realizará en función de las características del tipo de absorbedor que usa el colector.

#### No poroso

El absorbedor no permite el paso del aire constituyendo una barrera física para el flujo, pero sin impedir la transferencia calorífica [20].

##### *Colector de una sola exposición*

Solamente hay una única placa absorbidora expuesta a la radiación solar, puede haber clasificaciones internas en función de la forma y posición del absorbedor, entre los que destacan los de placa absorbidora aleteada y los de placa absorbidora corrugada-dentada [29], ya que aumentan la superficie de transmisión de calor notablemente. Una representación básica se encuentra en la figura II.2.1.1.

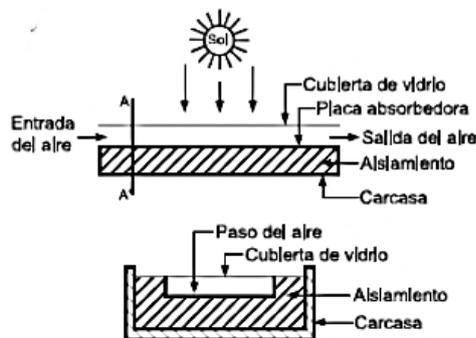


Figura II.2.1. 1 Colector no poroso de una sola exposición

##### *Colector de doble exposición*

Aquí la placa que anteriormente era la posterior se pinta de negro y se le proporciona irradiación, por ejemplo, retirando el aislamiento, usando reflectores para redireccionar irradiación hacia la plana ennegrecida y vidriando para formar un conducto. Constituyendo así un colector de doble exposición, incrementado la eficacia. Un croquis de este tipo de colector se encuentra en la figura II.2.1.2.

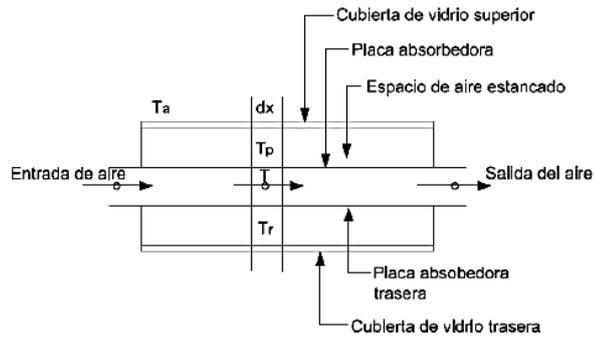


Figura II.2.1. 2 Croquis de colector no poroso de doble exposición

### Colector de dos pasos

El aire puede circular entre varias placas, existiendo una subclasificación, sin embargo, siempre abandona el colector circulando entre la placa absorbedora y la cubierta inferior [30]. Un ejemplo de este tipo de colectores se encuentra en la figura II.2.1.3.

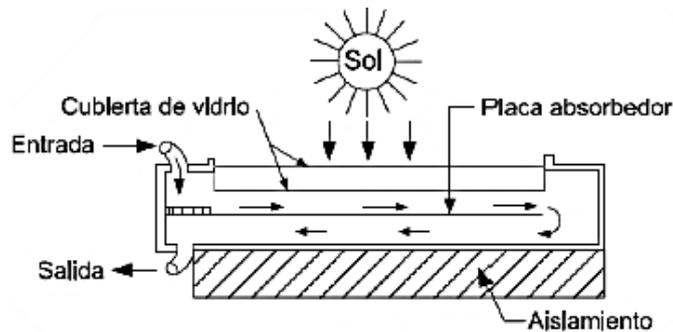


Figura II.2.1. 3 Colector no poroso de dos pasos

### Colector invertido

Estos colectores necesitan de elemento reflectantes que redirección la irradiación hacia la placa absorbedora, se consigue aumentar el rango de temperaturas hasta casi el doble, llegando a los 200°C [31]. Un esquema de este colector se aprecia en la figura II.2.1.4.

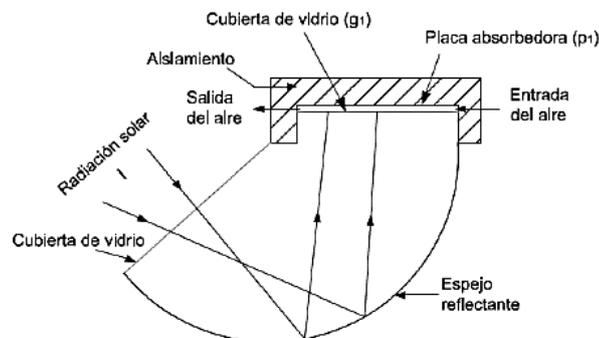


Figura II.2.1. 4 Colector no poroso invertido

**Poroso**

Ahora se cuenta con una matriz en el interior del colector [32], presentando los siguientes beneficios:

- Se pierde menos radiación solar, ya que se introduce hasta el fondo y se absorbe siguiendo su trayecto, la corriente de aire, que pasa a través de la matriz, sube.
- Se pierde menos presión que en el otro tipo de colectores.

La matriz tiene que ser seleccionada adecuadamente si se quiere aumentar la eficiencia, tiene que poseer tanto un espesor como una porosidad apropiada, y el material ha de ser convenientemente escogido, algunos ejemplos de materiales para la matriz serían las lanas metálicas, ya sean estas de acero (al carbono o inoxidable), de bronce o de aluminio.

**Colector con placas de cristal solapadas**

En la figura II.2.1.5 se escenifica un colector de estas características, está fundamentado en colocar las placas una sobre otra, siendo una parte transparente y la otra ennegrecida (la porción de placa que se encuentra bajo la placa que le anticipa). Po lo demás, el colector cuenta vidriado en la zona superior y aislado en el fondo, encajado todo él en una caja metálica.

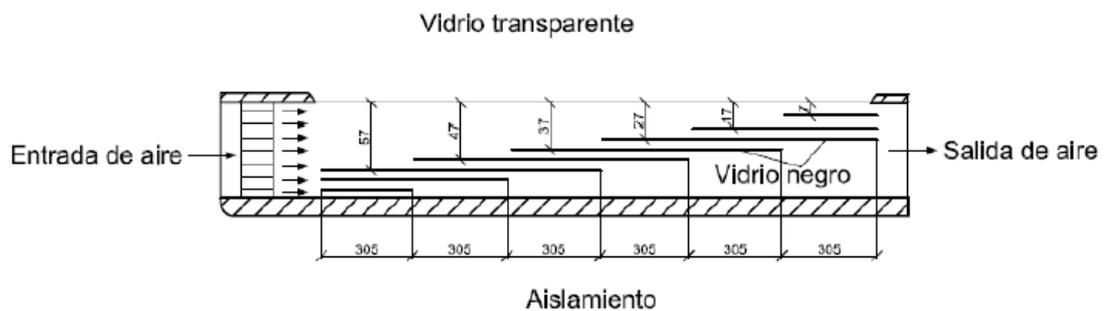


Figura II.2.1. 5 Esquema de colector poroso con placas de cristal solapadas.

**Colector con el absorbedor en forma de panel de abejas**

Usar este tipo de disposición de panel entre la cubierta y el absorbedor consigue reducir de forma bastante notoria las pérdidas que se producen por convección en la zona superior. En la figura II.2.1.6 se puede observar el esquema de esta estructura y el reparto del aire a través, así como ejemplos de paneles, pudiendo ser estos opacos o transparentes y con formas rectangulares o hexagonales.

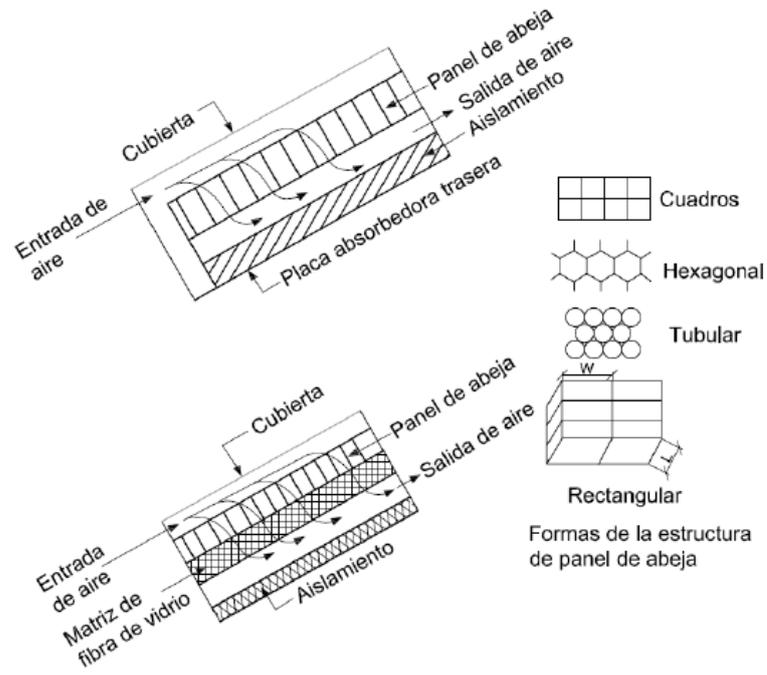


Figura II.2.1. 6 Esquema colector poroso con absorbedor en forma de panel.

## II.2.2 Oferta

Existe gran variedad de colectores solares en el mercado, algunos ejemplos son los siguientes.

SUNMATE (ENVIROMENTAL SOLAR SYSTEMS). USA [W-4]. Correspondiente a la figura II.2.2.1.



Figura II.2.2. 1 Colector solar SunMate. Fuente: Enviromental Solar Systems.

Las especificaciones de este colector son:

- Peso: 40,82 kilogramos.
- Dimensiones en centímetros: 10,16 x 88,9 x 195,58
- Bastidor de aluminio extruido.
- Aislamiento de poliisocianurato (PIR).
- Intercambiador de calor de aluminio corrugado con recubrimiento negro selectivo.
- Vidrio solar templado.
- Ventilador o fan regulador: encendido a 43,33°C, apagado a 32,22°C.

SOLAR DUCT (SOLAR WALL) [33]. Conserval Engineering Inc. Canadá. [W-5]. Se corresponde a la figura II.2.2.2.

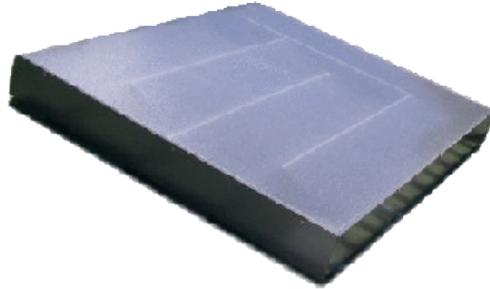


*Figura II.2.2. 2 Sistema colector Solar Duct. Fuente: Solar Wall.*

De las características de este colector, destacan las siguientes:

- Unidades modulares
- Dimensión típica con 8 unidades modulares: 14,6 metros.
- Suministro de hasta 53,33 m<sup>3</sup>/min de aire caliente de ventilación y de hasta 8 kW en calefacción.
- Panel del colector íntegramente de metal.
- Uso como enfriamiento en noches de épocas cálidas.
- Empleo de ventilador o fan.

SUN LIZARD (ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY). Australia. [W-6]. Se corresponde con la figura II.2.2.3.

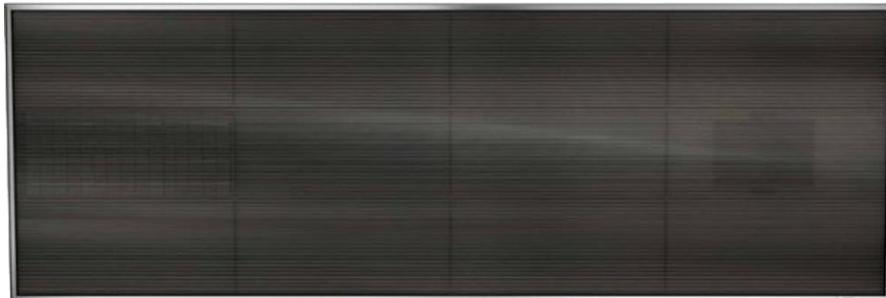


*Figura II.2.2. 3 Colector de Sun Lizard. Fuente: Sun Lizard.*

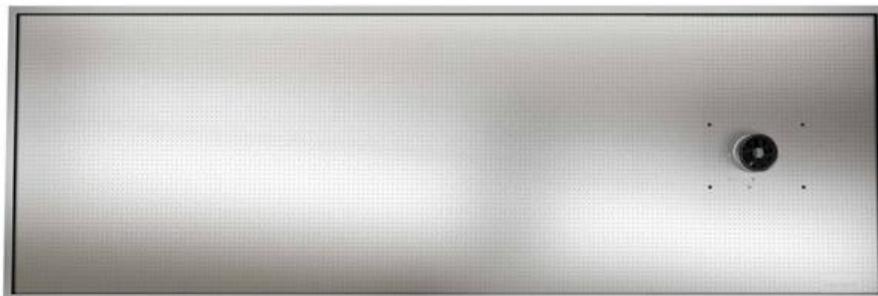
Especificaciones de este colector:

- Dimensiones en centímetros: 152x122x12
- Peso: 60 kilogramos.
- Recorrido sinuoso del aire.
- Vidrio solar templado.
- Deflectores angulados.

SV30 (SOLARVENTI). Dinamarca. [W-7]. Se corresponde con la figura II.2.3.4 para la vista de la cara superior y con la figura II.2.3.5 para la vista de la superficie inferior. Este colector es el que más superficie cubre dentro de la gama que ofrece la empresa.



*Figura II.2.2. 4 Cara superior del colector Sv30. Fuente Solar Venti.*



*Figura II.2.2. 5 Cara inferior del colector Sv30. Fuente Solar Venti.*

Las especificaciones de este colector son:

- Para deshumidificar cubre áreas hasta 150m<sup>2</sup>.
- Para calentar entre 30 y 91 m<sup>2</sup> hasta 40°C por encima de la temperatura externa.
- 2100W suministro de energía por año.
- 100-150 m<sup>3</sup>/hora flujo de aire en rendimiento.
- Regulador electrónico.
- Montaje en pared o tejado, horizontal o vertical.
- Dimensiones en centímetros: 300 x 102 x 7,5
- Peso: 29 kilogramos.

KW-ECOAIR 220 (KW SOLAR). España. [W-8]. El producto seleccionado es el mayor de la gama y se corresponde con la figura II.2.2.6.



*Figura II.2.2. 6 KW - Ecoair 220. Fuente: KW Solar.*

Los datos de este colector son:

- Superficie: 1,54 m<sup>2</sup>.
- Dimensión en centímetros: 220 x 70 x 6.
- Superficie que permite acondicionar: 40 – 70 m<sup>2</sup>.
- Placa fotovoltaica: 5 W.
- Potencia ventilador: 3 W.
- Placa absorbadora: Aluminio.
- Panel frontal: policarbonato.

SOLARSHEAT 1500GS PV-DC (YOUR SOLAR HOME). Canada. [W-9]. El producto elegido se corresponde con la figura II.2.2.7.



*Figura II.2.2. 7 Colector Solar Sheat 1500GS PV-DC. Fuente: Your Solar Home.*

Las especificaciones para este producto son:

- Permite calefactar una superficie de 70 m<sup>2</sup>.
- Dimensiones en centímetros: 221 x 109,6 x 9,7.
- Superficie: 2,4 m<sup>2</sup>.
- Peso: 42,6 kilogramos.
- Carpintería de aluminio.
- Chapa de aluminio corrugado.
- Vidrio templado.
- Aislamiento de poliisocianurato (PIR).
- Funcionamiento automático mediante termostato.
- Potencia (ventilador) Solar fotovoltaica 14,5 W.
- Diferencia T<sup>a</sup> entrada/salida 20°C-40°C.

TWINSOLAR TWIN 2.0. (GRAMMER SOLAR). Alemania. [W-10]. Un ejemplo de su gama se corresponde con la figura II.2.2.8.



*Figura II.2.2. 8 Colector Twin 2.0. Fuente Grammer Solar.*

Las especificaciones para este producto son:

- Dimensiones en centímetros: 200 x 100.
- Área: 2 m<sup>2</sup>.
- Permite ventilar áreas de hasta 80 m<sup>2</sup>.
- Peso: 47 kilogramos.
- Ventilador que proporciona hasta 125 m<sup>3</sup>/hora.

SOLAR MAX 240 (CANSOLAIR). Canadá. [W-11]. El colector se corresponde con el mostrado en la figura II.2.2.9.



*Figura II.2.2. 9 Colector Solar Max 240. Fuente Cansolair.*

Las especificaciones de este colector son:

- Superficie: 2,4 m<sup>2</sup>.
- Dimensiones en centímetros: 221 x 109,6 x 9,7
- Peso: 38,64 kg
- Intercambiador formado por 15 columnas cilíndricas.
- Policarbonato curvo resistente a rayos UV.
- Aislamiento de poliisocianurato (PIR).
- Reducción aproximada de CO<sub>2</sub>: 0,35 Toneladas/año
- Diferencia de temperatura entre entrada y salida: mínimo 27°C y máximo 55°C.

Este colector cuenta con la distinción de usar latas de refrescos recicladas en su construcción, formando las columnas cilíndricas del interior del colector. Circunstancia que coincide con la base de la construcción del proyecto que se está tratando.

## II.3 Captadores realizados con materiales reciclados o en países en vías de desarrollo

### II.3.1 Captadores solares térmicos de agua

La mayoría de los colectores solares, con materiales reciclados destinados al calentamiento de agua, emplean botellas de politereftalato de etileno (PET). El ciclo de vida de estas botellas es muy contaminante, desde el principio necesita de una fuente de energía de origen fósil no renovable (petróleo) para crear el material que las constituye, luego está el gasto energético empleado en dar la forma final del producto y en el transporte del mismo. Se estima que, en una botella de agua tipo PET, se ha consumido hasta tres veces el volumen de la botella en su producción [W-12]. Esto se suma a un ineficaz sistema de reutilización y reciclado, por lo que la mayoría de estas botellas acaban en vertederos o en el mar, donde realizan un proceso de descomposición muy lento y contaminante. Resulta imprescindible encontrar una segunda vida a este tipo de botellas, que tienen a mayores de las ya mencionadas, las siguientes especificaciones:

- Gran resistencia a la degradación por impacto.
- Gran resistencia a la tensión.
- Buena resistencia química.
- Higiene y versatilidad.
- Impermeabilidad.
- Aislante eléctrico.
- No resiste altas temperaturas.

Estas características [34], hacen que los efectos de las botellas en la construcción de colectores que aprovechan la EST sean de dos alternativas principales, en todas ellas cubrirán al tubo transportador de fluido y, en ningún caso, estarán en contacto directo con el agua. También se encuentran construcciones de colectores térmicos de agua de poco coste sin el empleo de botellas para países en vías de desarrollo concretos como Costa de Marfil [35].

#### Efecto invernadero

Las funciones de las botellas son retener el calor y permitir la entrada de la radiación electromagnética solar de onda corta, calentando así el ambiente contenido en la botella que envuelve al tubo transportador de agua, siendo este de cobre o de plástico. En la figura II.3.1.1 se ve la imagen de la distribución de las botellas en un colector de este tipo, las botellas están recortadas por la base y embutidas entre sí formando un conducto circundante al tubo por el que pasa el fluido a calentar [36].



*Figura II.3.1. 1 Distribución de botellas PET en un colector solar de agua [36].*

Las botellas servirán de protección del sistema colector, tanto a nivel de posibles choques o impactos, como a nivel de la meteorología, al ser usado en exteriores, en la figura II.3.1.2 se refleja esta situación.



*Figura II.3.1. 2 Colector solar térmico de agua con botellas PET [36].*

### **Efecto de cuerpo negro**

Ahora las botellas deberán absorber la máxima radiación posible, para ello, se ennegrecen con algún tipo de pintura o espray que pueda soportar temperaturas de hasta 100°C. Esto, conseguirá calentar la superficie de las botellas y el interior de las mismas, dotando finalmente de energía calorífica al tubo que pasa por ellas.

En este caso, las botellas podrán también estar a la intemperie, pero, dependerá de la calidad y consistencia del producto que las ennegrece, generalmente el conjunto del sistema absorbedor se encaja en una armadura y se aísla todo él salvo la cara superior, que está vidriada. En la figura II.3.1.3 se refleja la distribución de las botellas ennegrecidas [37].



Figura II.3.1. 3 Captador térmico de agua con botellas PET ennegrecidas [37].

### Papel reflectante

Para las distribuciones mostradas de colectores térmicos de agua con botellas PET se observa un material añadido, que además puede ser reciclado, no es otro que papel de aluminio, este se sitúa en la parte posterior del conjunto colector para el caso de las botellas ennegrecidas y se utiliza como recubrimiento parcial del interior de las botellas sin pintar.

Con ello se consigue que los rayos solares que incidan, del modo que sea, en la superficie reflectante se redireccionen hacia la superficie absorbedora

### II.3.2 Captadores solares térmicos de aire

El material por referencia empleado en captadores solares térmicos de aire es la lata de acero o aluminio con un volumen 0,33 litros y, generalmente, está destinada a contener bebidas carbonatadas y más tipos de refrescos.

En el mercado se encuentran latas de aluminio y de acero, sea el material que sea, se tienen muy buenas propiedades, que han hecho que su uso esté tan expandido. Algunas pueden ser:

- Ligereza, aunque más el aluminio que el acero al ser menos denso[38], tienen un espesor de 0,1 milímetros o menos, un peso aproximado de 25 gramos para el acero [39] y, de la mitad en el caso de aluminio [W-13].
- Impermeabilidad.
- No se deteriora ante efectos térmicos.
- Muy buena conductividad térmica, algo mejor en el acero.
- Ductilidad, más elevada para el caso del aluminio.
- Magnetismo únicamente en el acero, lo que hace que su separación para el reciclado sea más sencilla
- Buen conductor eléctrico en el caso del aluminio, empleado como sustitutivo del cobre [W-13].

- Reciclable: el acero de manera natural se oxida y vuelve a su estado original, el aluminio en cambio no, pero ambos pueden ser sometido a procesos de recuperación para una nueva vida. Las tasas de reciclado aumentan cada año, pero no son equiparables aún a las de papel o cartón.

Gracias a estas propiedades, hacen que su uso en colectores solares térmicos de aire se facilite y se alcancen muy buenos resultados. Generalmente se encuentran dispuestas de dos formas diferentes, en ambas actúan como elemento absorbedor, con la salvedad de que en uno de los tipos actúan como vías directas de conducto del aire.

Sin embargo, también existen otros materiales que permiten la construcción de colectores de este tipo con un coste de fabricación casi nulo.

### Manto de piedras

Las rocas o piedras son de un material fácilmente obtenible en la naturaleza y sin coste aparente. Las rocas se emplean como manto absorbedor en el interior de colector y, a su vez, pueden mantener la energía calorífica por más tiempo. Se necesita la construcción de colectores más robustos, debido a la densidad y masa elevadas del manto de piedras. En la figura II.3.2.1. se encuentra un esquema del funcionamiento de un colector de este tipo [40].

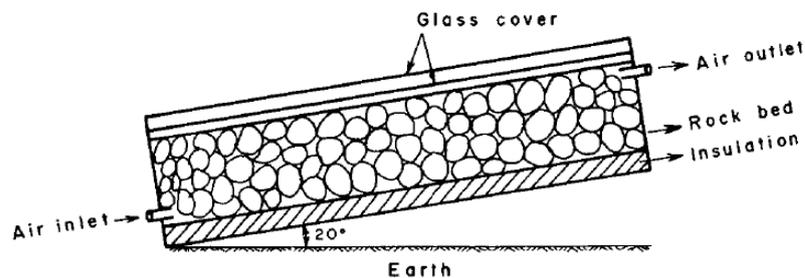


Figura II.3.2. 1 Colector solar de aire con manto de rocas [40].

### Placa metálica

También hay colectores que simplemente emplean una placa metálica negra pintada de negro a modo de absorbedor, con lo que se consigue mucha sencillez en la construcción, en la figura II.3.2.2 se refleja la construcción de un proyecto de secado para un habitáculo, en un país en vías de desarrollo como Bangladesh, empleando un colector con esta característica [41].



Figura II.3.2. 2 Colector solar de aire con placa metálica [41].

### Latas como conductos de aire

Las latas se ennegrecen y se conectan en serie, eliminando las bases de la lata para permitir el flujo de aire. Los conductos se sitúan juntos formando el interior del colector, realizando las funciones de absorción al estar ennegrecidas y de transporte del fluido. En la figura II.3.2.3 se observa la disposición de las latas antes de constituirse en el colector, para la figura II.3.2.4 se obtiene el colector completo, habiendo añadido la placa vidriada de la superficie superior y la caja que contiene a los conductos de latas [42].

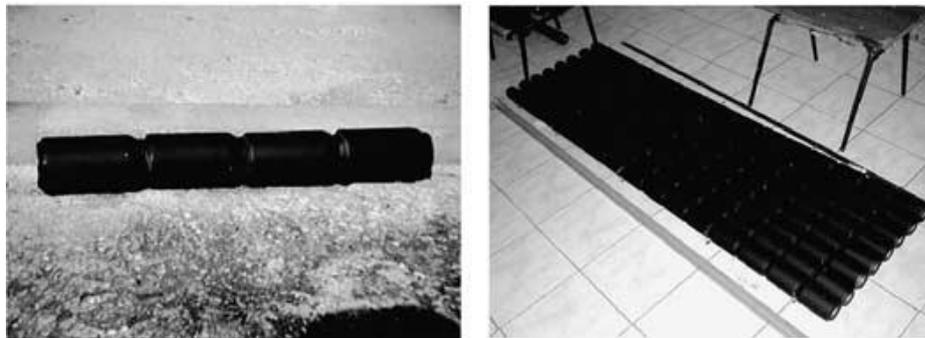


Figura II.3.2. 3 Latas ennegrecidas de un colector solar térmico de aire [42].



Figura II.3.2. 4 Colector solar térmico de aire usando latas como conducto [42].

Otro ejemplo de colector en el que aparece este tipo de distribución, empleando latas recicladas, se comercializa a nivel industrial y es el ya mencionado en la oferta de colectores solares térmicos de aire (II.2.2) por la empresa canadiense Can Solar [W-11].

### Latas como absorbedores

Las latas se ennegrecen, así como la placa inferior del colector, absorbiendo así la radiación solar, se colocan encima de la placa formando un conjunto absorbedor. Las latas también están sin sus bases para favorecer el flujo de aire, se pueden colocar sobre la placa de varias maneras, para la figura II.3.2.5, se han colocado intercaladas y para la figura II.3.2.6 en serie, los resultados son mejor para la primera distribución, aunque para esta, se han empleado mayor número de latas [43].



*Figura II.3.2. 5 Distribución de latas ennegrecidas intercaladas en placa absorbidora de un colector solar térmico de aire [43].*



*Figura II.3.2. 6 Distribución de latas ennegrecidas en serie en placa absorbidora de un colector solar térmico de aire [43].*

Para mejorar la eficiencia del colector, se ha colocado una distribución paralela de latas debajo de la placa absorbadora, en la figura II.3.2.7 se observa esta distribución, el colector es de una sola exposición y no poroso pero el flujo de aire pasa en dos alturas diferentes.



*Figura II.3.2. 7 Distribución paralela de latas en placa absorbadora de un colector solar térmico de aire [43].*

### RELACIÓN DE TABLAS

Tabla II.1.1. 1 Valores típicos de albedo

### RELACIÓN DE FIGURAS

Figura II.1.1. 1 Distribución de radiación solar incidente en la atmósfera [W-3].

Figura II.2.1. 1 Colector no poroso de una sola exposición

Figura II.2.1. 2 Croquis de colector no poroso de doble exposición

Figura II.2.1. 3 Colector no poroso de dos pasos

Figura II.2.1. 4 Colector no poroso invertido

Figura II.2.1. 5 Esquema de colector poroso con placas de cristal solapadas.

Figura II.2.1. 6 Esquema colector poroso con absorbedor en forma de panel.

Figura II.2.2. 1 Colector solar SunMate. Fuente: Environmental Solar Systems.

Figura II.2.2. 2 Sistema colector Solar Duct. Fuente: Solar Wall.

Figura II.2.2. 3 Colector de Sun Lizard. Fuente: Sun Lizard.

Figura II.2.2. 4 Cara superior del colector Sv30. Fuente Solar Venti.

Figura II.2.2. 5 Cara inferior del colector Sv30. Fuente Solar Venti.

Figura II.2.2. 6 KW - Ecoair 220. Fuente: KW Solar.

Figura II.2.2. 7 Colector Solar Sheat 1500GS PV-DC. Fuente: Your Solar Home.

Figura II.2.2. 8 Colector Twin 2.0. Fuente Grammer Solar.

Figura II.2.2. 9 Colector Solar Max 240. Fuente Cansolair.

Figura II.3.1. 1 Distribución de botellas PET en un colector solar de agua [36].

Figura II.3.1. 2 Colector solar térmico de agua con botellas PET [36].

Figura II.3.1. 3 Captador térmico de agua con botellas PET ennegrecidas [37].

Figura II.3.2. 1 Colector solar de aire con manto de rocas [40].

Figura II.3.2. 2 Colector solar de aire con placa metálica [41].

Figura II.3.2. 3 Latas ennegrecidas de un colector solar térmico de aire [42].

Figura II.3.2. 4 Colector solar térmico de aire usando latas como conducto [42].

Figura II.3.2. 5 Distribución de latas ennegrecidas intercaladas en placa absorbadora de un colector solar térmico de aire [43].

Figura II.3.2. 6 Distribución de latas ennegrecidas en serie en placa absorbadora de un colector solar térmico de aire [43].

Figura II.3.2. 7 Distribución paralela de latas en placa absorbadora de un colector solar térmico de aire [43].



**CAPÍTULO III:**

**DISPOSITIVO**

**EXPERIMENTAL**



## Contenidos del capítulo III

<b>III.1 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....</b>	<b>63</b>
III.1.1 Fundamentos .....	63
III.1.2 Fases .....	64
Conducto de latas .....	64
Conducto de botellas .....	68
Plénium de salida .....	69
Estructura soporte de los colectores.....	70
Elementos auxiliares. ....	72
<b>III.2 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....</b>	<b>73</b>
III.2.1 Factores considerados .....	73
III.2.2 Medición.....	75
<b>III.3 ELEMENTOS DE MEDIDA .....</b>	<b>76</b>
III.3.1 Dispositivos utilizados .....	76
Piranómetro .....	76
Sonda de molinete .....	77
Sonda de hilo caliente.....	78
Sonda de temperatura y humedad .....	79
Sonda de inmersión flexible (TP tipo K) .....	80
Sonda de penetración estanca (TP tipo K) .....	81
Registrador humedad y temperatura .....	82
Registrador temperatura de dos canales .....	83
Medidor multifunción con sensor de presión .....	85
Medidor multifunción .....	86
III.3.2 Colocación .....	87
Irradiación solar.....	87
Ambiente .....	87
Entrada de los colectores .....	88
Salida de los colectores .....	89
Medidores multifunción .....	91
<b>III.4 BANCO DE ENSAYOS.....</b>	<b>92</b>
III.4.1 Ensayos del estudio térmico del sistema .....	92
Ensayo base.....	92
Primera etapa de pruebas .....	92
Segunda etapa de pruebas .....	93
III.4.2 Otros ensayos.....	94



### III.1 Construcción del equipo

#### III.1.1 Fundamentos

Tomando como referencia conceptos e ideas que se han mencionado en el capítulo anterior, se ha realizado la fabricación de cuatro colectores solares térmicos de aire con elementos reciclados, con la premisa de llevar la construcción de un colector a la mínima expresión descartando el uso de carcasa y aislamiento; teniendo siempre presente el objetivo de conseguir el sistema final empleando el menor gasto energético posible y, el adecuado aprovechamiento del material reciclado o reutilizado.

Para este proyecto, cada colector está formado por un primer conducto de latas de acero ennegrecidas sin sus bases, realizando así la función absorbedora. Este conducto de latas estará circundado por otro realizado con botellas PET, que se encuentran recortadas por los extremos, cubiertas la mitad de su sección por papel de aluminio y embutidas entre sí. El papel de aluminio realiza la función reflectante, para así aprovechar al máximo la llegada de radiación al captador y cercanías, por otro lado, el conducto de botellas en conjunto hace la función de protección frente a la lluvia (cubierta) y de efecto invernadero [36].

Tomando como referencia este diseño, se han construido colectores de dos longitudes diferentes, aproximadamente de 0,7 metros y de 1 metro. Esto se realiza para observar la posible dependencia del efecto chimenea del flujo formado en el interior de cada colector y, para las mismas condiciones de trabajo, obtener una mayor repetibilidad de resultados.

El colector construido, sea el de la longitud que sea, se clasifica como colector térmico solar de aire no poroso (sin matriz absorbedora), de un paso (el aire solo va en una dirección), de doble flujo (al contar el flujo de aire por el conducto de las latas y el que se encuentra entre ambos conductos) y, teóricamente, también se podría considerar de doble exposición (posee elementos reflectantes en su parte inferior). Esta especificación del colector se ha realizado teniendo en cuenta la clasificación de colectores solares térmicos de aire explicada en el capítulo II.2.1.

Antes y después de la realización de cualquier operación que interviniera en el proceso de construcción de los colectores, se ha procedido a un ejercicio de higienización y protección de las partes del cuerpo que pudieran tener contacto, del modo que sea, con cualquier sustancia tóxica o perjudicial para la salud de los operarios. De la misma manera que, antes de la manipulación directa de los materiales se ha realizado una limpieza de los mismos.

### III.1.2 Fases

La construcción de cada colector se ha dividido en las siguientes fases:

- Conducto de latas.
- Conducto de botellas.
- Plenums de salida.
- Estructura soporte de los colectores.
- Elementos auxiliares.

#### Conducto de latas

Para la construcción de los cuatro colectores se necesitan sus correspondientes conductos o tubos de latas, para el colector de longitud grande se necesitan nueve latas, mientras que para el colector de longitud pequeña solamente seis. Todas ellas hacen un total de 30 latas para todo el sistema.

Las latas de refrescos, té, bebidas carbonatadas o alcohólicas se encuentran en el mercado de dos maneras posibles. Al menos en España, el modelo más extendido es la lata con cuerpo y base inferior de acero, mientras que la base superior o tapa es de aluminio, el otro modelo es de aluminio completamente. De toda la cantidad de latas que se disponían para la fabricación de los colectores había más densidad de latas de acero, motivo por el cual se ha decidido usar latas de este material, a pesar de su peor maleabilidad.

Conocer el proceso de fabricación de una lata de acero [39], permite entender las dificultades o facilidades encontradas en la eliminación de cada base de la lata, necesitamos esto para permitir el paso de flujo de aire, para que sea el mayor posible, habrá que evitar los daños en la superficie de lata utilizable (en especial los puntos que servirán como superficie de unión entre ellas) y, habrá que intentar tener el diámetro de sección de conducto máximo posible. En la figura III.1.1.1 se observa la forma de la base superior (aluminio), que es pegada y sellada al cuerpo y base inferior, después de que estos últimos pasen un proceso industrial conjunto de embutición.



Figura III.1.2. 1 Tapa de una lata de acero [39].

Para la eliminación de la parte superior de la lata se han evaluado varios métodos y, dentro de cada método, varias formas de conseguir el resultado.

Método1: rallar el borde superior hasta que la parte superior se separa del cuerpo. Podemos rallar este borde de las siguientes formas.

- Con una lija, pudiendo ser esta de esponja o plancha, en la figura III.1.2.2 aparece el resultado. Se necesitan aproximadamente cinco minutos para el rallado completo y solo emplea trabajo humano.



*Figura III.1.2. 2 Borde superior lata rallado con lija.*

- Con una máquina apta para el rallado de metales, se ha contado con la “Dremel Model 398”, y para la herramienta más eficaz el resultado es el de la figura III.1.2.3. Lleva dos minutos alcanzar el rallado completo requiriendo trabajo humano y gasto energético mecánico.



*Figura III.1.2. 3 Borde superior lata rallado con máquina.*

Método 2: a partir del orificio de la base de aluminio al retirar la anilla, se recorta la máxima superficie posible. Se obtiene un diámetro ligeramente menor. Se ha evaluado el método con dos herramientas posibles.

- Usando un abrelatas manual el resultado se refleja en la figura III.1.2.4. Se ha empleado unos treinta segundos en conseguir la eliminación de la superficie y solo se emplea trabajo humano con una fuerza muy pequeña.



Figura III.1.2. 4 Base superior lata recortada con abrelatas

- Usando unas tijeras se tarda cerca de un minuto, el resultado es el de la figura III.1.2.5, que es peor que con la otra herramienta y además, se daña el filo de la tijera.



Figura III.1.2. 5 Base superior lata recortada con tijeras.

Para la eliminación de la parte inferior de la lata se han evaluado varios métodos, de los que se han considerado como factibles los comentados a continuación. Hay que reseñar que esta parte de la lata es de acero, por lo que tiene menos maleabilidad y necesita de más fuerza para el trabajo manual.

Método1: empleando un taladro vertical con una corona unida a la broca, el resultado se puede apreciar en la figura III.1.2.6. En quince segundos se consigue realizar la operación, pero evidentemente, emplea gasto energético mecánico y una mano de obra medianamente cualificada.



Figura III.1.2. 6 Base inferior lata eliminada con taladro vertical.

Método2: con un martillo y un punzón, con la ayuda de un “pico de loro” y unos alicates. En primer lugar, se hacen varios agujeros con el martillo y el punzón, posteriormente, con el “pico de loro” y los alicates se separa la superficie a eliminar del cuerpo. El resultado final se refleja en la figura III.1.2.7. Se emplean cerca de cinco minutos, el acabado tiene una peor estética en comparación con el método anterior, pero el diámetro alcanzado es el mismo aproximadamente y solamente necesita trabajo humano.



*Figura III.1.2. 7 Base inferior lata eliminada con martillo y punzón.*

Tras evaluar los diferentes métodos, los escogidos para la parte superior e inferior de la lata son, respectivamente, el que usa abrelatas y el que emplea martillo y punzón. No son los métodos más rápidos, pero sí los que aseguran unas buenas prestaciones, sin dañar apenas la lata, con trabajo únicamente humano y sin requerir una mano de obra cualificada. Queda un diámetro aproximado de 5 centímetros.

Para la unión de las latas se emplea Silicona Alta Temperatura CEYS [W-14], es una silicona ácida con base de caucho de silicona, resistente a temperaturas de hasta 250°C, válida para el material de las latas y de color negro, beneficiando así el posterior proceso de ennegrecimiento del conducto. Las latas se conectan en serie por sus bases, aplicando un cordón de silicona en los puntos que están en contacto entre ellas, posteriormente se deja secar la silicona un mínimo de 24 horas, ejerciendo a su vez una presión longitudinal en el conducto para beneficiar el sellado entre latas. En la figura III.1.2.8 se aprecia el cordón de silicona empleado antes del ennegrecimiento total del conducto de latas.



*Figura III.1.2. 8 Cordón de silicona del conducto de latas.*

Para el ennegrecimiento de las latas, una vez sellado correctamente el conducto, se emplea un revestimiento de resina acrílica. En la figura III.1.2.9

aparece el conducto de latas ya ennegrecido y secándose. Se ha considerado como suficiente la resistencia a la temperatura (50°C máxima exposición recomendada) de este espray de color negro, a pesar de lo que se emplea en la literatura [42]. El posterior ensayo ha validado esta consideración.



*Figura III.1.2. 9 Ennegrecimiento del conducto de latas.*

### Conducto de botellas

Encontramos las botellas PET en el mercado con diferentes formas y volúmenes, se ha optado por emplear aquellas con una superficie lisa y con un volumen de 1,5 litros, aprovechando de esta manera la longitud de la botella y consiguiendo a su vez que encajen correctamente entre sí. No se emplea ningún tipo de adhesivo.

Para un colector de longitud larga se necesitan seis botellas, mientras que para un colector de longitud pequeña la cantidad se reduce a cuatro, lo que hacen un total de veinte botellas.

Se han recortado los extremos de cada botella para que pueda pasar el conducto de latas por dentro. Para ello ha hecho falta simplemente una tijera, se tarda cerca de un minuto en completar el recorte de ambos extremos.

Una vez recortas se ha pegado el papel de aluminio en el interior de las mismas, recubriendo cerca de 150° de la sección de la botella, consiguiendo así el ya mencionado efecto de redireccionar los rayos solares de nuevo hacia las latas. En la figura III.1.2.10, se aprecia la distribución del papel de aluminio, así como su vista por fuera y dentro de la botella.



*Figura III.1.2. 10 Vista exterior e interior del papel de aluminio en botella PET.*

Como particularidad, a la primera botella del colector, la que se corresponderá con la entrada de aire, se recorta de manera especial, dejando en la parte inferior de la misma un saliente, aprovechando su forma, para evitar que el tubo de latas pueda descender una vez se encuentre montado y colocado en la estructura. En la figura III.1.2.11 se aprecia este detalle.



*Figura III.1.2. 11 Botella correspondiente con la entrada de aire del colector.*

### Plénum de salida

Para conseguir mediciones más fiables y que estén lo más aisladas posible del entorno, se construye un plénum por cada colector, que se ajustará a la salida de los mismos con cinta aislante.

El plénum está formado por un cuello de botella de plástico y material aislante, todo ello recubierto por cinta aislante, en la figura III.1.2.13 se observa el plénum con el material citado, posteriormente se añade otra cinta, sin más finalidad que la de asegurar la buena adhesión de la cinta aislante al material aislador, se observa dicha cinta en la figura III.1.2.12.



*Figura III.1.2. 12 Vista exterior e interior del plénum de salida con cinta aislante.*



Figura III.1.2. 13 Plénium de salida definitivos en dos colectores.

### Estructura soporte de los colectores

La estructura tiene la función de soportar el peso de los colectores y las condiciones meteorológicas a las que se ve expuesto. Se han empleado listones de estanterías como los reflejados en la figura III.1.2.14, así como un gran número de tornillos, tuercas y arandelas de métrica 10.



Figura III.1.2. 14 Listones empleados como estructura soporte colectores.

En primer lugar, se ha construido una estructura individual para cada colector, que cumpla con los requisitos de experimentos de la norma, explicados en el punto III.2.1 de la memoria. El conjunto de conductos de latas y botellas se une a un listón mediante bridas, como se ve reflejado en la figura III.1.2.15. El papel de aluminio debe coincidir con la parte del conducto de botellas que esté en contacto con el listón metálico, para no impedir el paso de los rayos solares al tubo de latas y reflejar los que pueda.



Figura III.1.2. 15 Colector unido a listón de estructura con bridas.

## Capítulo III Diseño de experimentos

Una vez está unido el colector al listón correspondiente, se procede a una segunda unión entre estructuras, dos a dos, para aumentar la resistencia estructural del conjunto, esta unión se observa en detalle y en perspectiva para la figura III.1.2.16. Por último, para la figura III.1.2.17, se sitúa el sistema de colectores al completo.



*Figura III.1.2. 16 Unión de los colectores con la estructura.*



*Figura III.1.2. 17 Sistema de colectores montado.*

### Elementos auxiliares.

La construcción de estos elementos se realiza para comprobar si hay penetración por lluvia y para proteger de alguna manera el interior de los colectores frente a las condiciones ambientales.

Para cada entrada del colector se une, mediante cinta aislante, el extremo superior de una botella PET recortada a un diámetro coincidente con el de la lata. En la figura III.1.2.18 se observa la situación de los elementos auxiliares para comprobación de penetración por lluvia en dos colectores diferentes.



*Figura III.1.2. 18 Elementos auxiliares para prueba de penetración por lluvia.*

Por otro lado, para proteger el interior del colector, se sitúa en la salida del mismo, una bolsa de plástico sujeta con un alambre al plenum, como se ve en la vista de la izquierda de la figura III.1.2.19. En la entrada del colector se coloca, circundando a la cubierta de botellas y de elementos auxiliares de comprobación de penetración por lluvia, una botella PET recortada por los dos extremos, de un diámetro y volumen superior, con respecto a las botellas usadas hasta ahora, envuelta en una bolsa de plástico, como muestra la vista de la derecha de la figura III.1.2.19.



*Figura III.1.2. 19 Elementos auxiliares para protección interior del colector.*

Estos elementos se colocan de manera ocasional en el colector y después de la toma de datos del ensayo. Sirven de utilidad cuando el grupo de colectores pasa un tiempo determinado a la intemperie.

### III.2 Diseño de experimentos

#### III.2.1 Factores considerados

Antes de nada, hay que notificar que este prototipo tiene mero carácter educativo, experimental, sin ningún fin comercial y sin capacidad de implantación directa, por lo que, de cara a cumplir con los requisitos que, al menos en España, establece la norma ISO 9806 [N-3] de: montaje, instrumentos de medida y ensayos, no se podrán cumplir en su mayoría, aunque se intentará en la medida de lo posible.

Se han construido un total de cuatro elementos con el diseño de montaje del punto anterior del capítulo, estos elementos si se conectaran en paralelo y, en número diferente, constituirían captadores de distinta capacidad. Sin embargo, los ensayos que se han realizado sobre ellos se evalúan de forma individual, con el objetivo de calificar el efecto de cada elemento que compone el captador, verificando la relación de resultados entre unidades similares.

La estructura de los colectores se ha montado en el exterior, concretamente en la cubierta exterior que dispone la Escuela de Ingenierías Industriales (Eii) de la Universidad de Valladolid (Uva), ubicada en: Paseo del Cauce 52 en Valladolid, Valladolid, España. En la figura III.2.1.1, se aprecia dicha localización, así como el entorno que la rodea.



Figura III.2.1. 1 Localización de la cubierta exterior [W-15].

Siguiendo las especificaciones de la norma [N-3] y, adaptándolo a los elementos disponibles de trabajo, el sistema de colectores se ha montado sin elementos próximos de sombra, cuyos elementos de entorno son de baja reflectancia para evitar radiación reflejada sobre el captador. Las especificaciones conllevan unos requisitos estructurales; se debe permitir la

libre circulación del aire en el espacio que rodee al captador y, la entrada del mismo (el extremo inferior), ha de estar a una distancia mínima del suelo donde esté ubicado de 50 centímetros. Estas circunstancias, sumado a que, para realizar ensayos en distintas estaciones, la inclinación del captador debe ser igual al valor de la latitud ( $42^\circ$ ) y debe estar orientado hacia el sur, para la ciudad en la que se encuentra [N-4], hacen que la construcción de la estructura que soporta los captadores sea muy importante y que la localización del sistema en la terraza se encuentre como se indica en la figura III.2.1.2.



Figura III.2.1. 2 Posición del sistema en la cubierta [W-15].

Para diferenciar los captadores y para comprobar si la posición entre ellos afecta a la hora de resultados, los captadores se han situado en parejas de distinto tamaño, es decir, un colector pequeño (CP) con un colector grande (CG) y en posiciones intercambiadas, teniendo entonces un colector pequeño en el exterior del sistema (CPE) con un colector grande en el interior (CGI) y un colector pequeño en el interior (CPI) con uno grande en el exterior (CGE). La distribución se refleja en la figura III.2.1.3.



Figura III.2.1. 3 Disposición de los colectores en la cubierta.

### III.2.2 Medición

Se han construido un total de cuatro elementos con el diseño de montaje del punto anterior del capítulo, estos elementos si se conectaran en paralelo y, en número diferente, constituirían captadores de distinta capacidad. Sin embargo, los ensayos que se han realizado sobre ellos se evalúan de forma individual, con el objetivo de calificar el efecto de cada elemento que compone el captador, verificando la relación de resultados entre unidades similares.

Para comprobar el comportamiento térmico del prototipo, la eficiencia del mismo y el caudal de aire se ha pretendido medir las siguientes magnitudes:

- Temperatura seca (T) y humedad relativa (HR): a la entrada y salida de los colectores y en el ambiente.
- Velocidad del aire (v): a la salida de los colectores y en el ambiente.
- Irradiación solar incidente en los colectores (I).

En la figura III.2.2.1 se encuentra la situación del sistema junto con las magnitudes que se han querido medir.

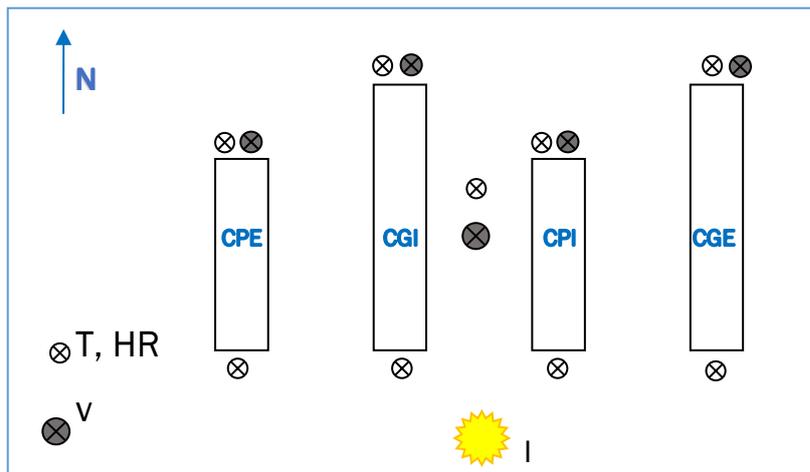


Figura III.2.2. 1 Sistema de colectores con magnitudes medidas.

### III.3 Elementos de medida

#### III.3.1 Dispositivos utilizados

##### Piranómetro

Para la toma de datos de la Irradiación se ha empleado el Piranómetro FLA628S Ahlborn Equipment, Inc. Las dimensiones son de 160 mm para el diámetro de la base y de 75 mm de altura, en la figura III.3.1.1 se expone este instrumento.



Figura III.3.1. 1 Piranómetro FLA628S [44].

Este piranómetro mide la radiación global, la radiación solar y la radiación de onda corta independientemente de la temperatura ambiente que lo rodee, posee una cúpula de cristal que lo protege de las condiciones ambientales y se puede nivelar gracias a sus tres tornillos de ajuste y una burbuja integrada [44]. Sus datos técnicos se recogen en la tabla III.3.1.1.

Tabla III.3.1. 1 Datos técnicos Piranómetro FLA628S [44].

Datos técnicos piranómetro FLA 628S

Rango de medida	0 hasta 1500 W/m <sup>2</sup>
Resolución	0,1 W/m <sup>2</sup>
Rango espectral	0,3 hasta 3 μm
Potencia de salida	15 mV/Wm <sup>-2</sup>
Impedancia	35 ohms
Rango operativo	-40 hasta +60 °C

Precisión	Efecto coseno + efecto acimut + influencia temperatura
Efecto coseno	<3% del valor medido (0 hasta 80° inclinación)
Efecto azimut	<3% del valor medido
Influencia temperatura	<1% del valor medido (-20 hasta +40 °C)
Temperatura nominal	22°C ± 2°C
Linealidad	<0,5% (0,5 hasta 1330 W/m <sup>2</sup> )
Estabilidad	<1% de la medida por año del rango
Tiempo estabilización	25 s(t <sub>95</sub> )
Peso	1 kg

### Sonda de molinete

La sonda de medición de molinete de 60 mm de diámetro, modelo 0635 9335, sirve para determinar la velocidad de flujo y el caudal volumétrico en las salidas de ventilación o salida de conductos. Para este proyecto se emplea como medidor de la velocidad de ambiente del aire. En la figura III.3.1.2 se visualiza este instrumento.



Figura III.3.1. 2 Sonda molinete 06359335 [W-16].

Este molinete está equipado con un brazo telescópico extensible hasta los 910 mm y un cable de longitud fija de 1,9 metros, lo que nos permitirá colocarlo a la altura deseada molinete [W-16]. Sus datos técnicos se recogen en la tabla III.3.1.2.

Tabla III.3.1. 2 Datos técnicos Sonda molinete 06359335 [W-16].

Datos técnicos Sonda molinete 0635 9335	
Temperatura de funcionamiento	0 - +60 °C
Rango de velocidad	+0,25 - 20 m/s
Exactitud Velocidad	± (0,1 m/s + 1,5% del v.m.)

### Sonda de hilo caliente

La sonda de medición de hilo caliente (anemómetro térmico), modelo 0635 1535, se usa principalmente para determinar la velocidad de flujo y el caudal volumétrico en un conducto o en salidas de ventilación, a la vez, esta sonda es capaz de medir también la temperatura y la humedad, su diámetro es de 12 mm y en la figura III.3.1.3 se ve este instrumento. En el proyecto se emplea para medir las magnitudes a la salida de un tubo colector.



Figura III.3.1. 3 Sonda de hilo caliente 06351535 [W-17].

Esta sonda está equipada con un brazo telescópico extensible de hasta 745 mm y un cable de longitud fija de 0,8 metros, lo que limita ligeramente su colocación [W-17]. Sus datos técnicos se recogen en la tabla III.3.1.3.

Tabla III.3.1. 3 Datos técnicos Sonda de hilo caliente 06351535 [W-17].

Datos técnicos Sonda de hilo caliente 0635 1535	
Rango de temperatura	-20 hasta +70 °C
Exactitud de temperatura	±0,3 °C
Rango de humedad	0 hasta +100 %HR
Exactitud de humedad	±2 %HR (+2 hasta +98 %HR)
Rango de velocidad	0 hasta +20 m/s
Exactitud de velocidad	± (0,03 m/s + 4 % del v.m.)

### Sonda de temperatura y humedad

La sonda de medición de temperatura y humedad relativas de forma segura, modelo 0636 9735, en el proyecto se emplea a la salida de un colector. El sensor de la humedad es duradero y tiene trazabilidad a los estándares internacionales, como son ILAC<sup>1</sup>, PTB<sup>2</sup> y NIST<sup>3</sup>. Tiene un diámetro de 12mm y su longitud del tubo es de 140 mm. En la figura III.3.1.4 se encuentra la sonda.



Figura III.3.1. 4 Sonda de temperatura y humedad 06369735 [W-18].

<sup>1</sup> ILAC: siglas en inglés de International Laboratory Accreditation Cooperation, que viene a significar Acreditación del Laboratorio Internacional de Cooperación.

<sup>2</sup> PTB: siglas en alemán de Physikalisch -Technische Bundesanstalt, que viene a significar instituto federal técnico-físico.

<sup>3</sup> NIST: siglas en inglés de National Institute of Standards and Technology, que viene a significar Instituto Nacional de Normas y Tecnología.

Esta sonda no es extensible y simplemente está equipada con un cable de longitud fija de 1,1 m, lo que limita su colocación [W-18]. Sus datos técnicos se recogen en la tabla III.3.1.4.

Tabla III.3.1. 4 Datos técnicos Sonda de temperatura y humedad 06369735 [W-18].

**Datos técnicos Sonda de temperatura y humedad 0636 9735**

Rango de temperatura	-20 hasta +70 °C
Exactitud de temperatura	±0,3 °C
Rango de humedad	0 hasta +100 %HR
Exactitud de humedad	±2 %HR (+2 hasta +98 %HR)

### Sonda de inmersión flexible (TP tipo K)

La sonda de inmersión flexible (termopar tipo K), modelo 0602 0593, es rápida y estanca adicionalmente, su uso es ideal para mediciones de inmersión precisas en líquidos, aunque también es adecuada para gran variedad de aplicaciones. El diámetro del tubo de la sonda es de 1,5 mm y la longitud de 300 mm. En el proyecto se emplea para medir la temperatura a la salida de un colector. En la figura III.3.1.5 se encuentra la sonda.



Figura III.3.1. 5 Sonda de inmersión flexible 06020593 [W-19].

Esta sonda tampoco es extensible y cuenta con un cable de longitud fija de 1,2 m, lo que limita su colocación [W-19]. Sus datos técnicos se recogen en la tabla III.3.1.5.

Tabla III.3.1. 5 Datos técnicos Sonda de inmersión flexible 06020593 [W-19].

Datos técnicos Sonda de inmersión flexible 0602 0593	
Rango de temperatura	-60 hasta +1000 °C
Exactitud de temperatura	Clase 1*
TIEMPO DE RESPUESTA $T_{90}$	2 s

\* Según normativa EN 60584-2, la exactitud de Clase 1 se aplica de -40 hasta +1000 °C (Tipo K)

### Sonda de penetración estanca (TP tipo K)

La sonda de penetración/inmersión estanca (termopar tipo K), modelo 0602 1293, se emplea generalmente en la medición rápida de la temperatura en líquidos y semisólidos, siendo muy versátil y con capacidad para emplearse en otros ámbitos. En el proyecto se emplea para medir la temperatura de salida de un colector. La longitud del tubo de la sonda es de 114 mm, la de la punta de la sonda de 50 mm y el diámetro máximo de la misma es de 5 mm. En la figura III.3.1.6 aparece la sonda.



Figura III.3.1. 6 Sonda de penetración estanca 06021293 [W-20].

Esta sonda tampoco es extensible y cuenta con un cable de longitud fija de 1,2 m, lo que limita su colocación [W-20]. Sus datos técnicos se recogen en la tabla III.3.1.6.

Tabla III.3.1. 6 Datos técnicos Sonda de penetración estanca 06021293 [W-20].

Datos técnicos Sonda de penetración estanca 0602 1293	
Rango de temperatura	-60 hasta +400 °C
Exactitud de temperatura	Clase 2*
TIEMPO DE RESPUESTA T <sub>90</sub>	7 s

\* Según normativa EN 60584-2, a exactitud de la Clase 2 se aplica de -40 hasta +1200 °C (Tipo K)

### Registrador humedad y temperatura

El Data logger testo 175 H1, modelo 0572 1754, mide y registra de manera continua la temperatura, la humedad relativa y el punto de rocío, con una gran capacidad de almacenamiento de datos. Su uso principal está destinado a espacios cerrados, sin embargo, en este proyecto se usa para la toma de medidas en entrada y salida de colectores y para el ambiente. Sus dimensiones son de 149 x 53 x 27 mm. En la figura III.3.1.7 se encuentra este registrador.



Figura III.3.1. 7 Registrador humedad y temperatura 05721754 [W-21].

Se puede situar sobre casi cualquier superficie con ayuda de tornillería y accesorios y/o con bridas [W-21]. Sus datos técnicos se recogen en la tabla III.3.1.7.

Tabla III.3.1.7 Datos técnicos Registrador humedad y temperatura 05721754 [W-21]

Datos técnicos Registrador humedad y temperatura 0572 1754	
Rango de temperatura	-20 hasta +55 °C
Exactitud de temperatura	±0,4 °C (-20 hasta +55 °C)
Resolución de temperatura	0,1 °C
Rango de humedad	0 hasta 100 %HR
Exactitud de humedad	±2 %HR (2 hasta 98 %HR) at +25 °C
Resolución de humedad	0,1 %HR
Rango punto de rocío	-40 hasta +50 °Ctd
Exactitud punto de rocío	+0,03 %HR/K

### Registrador temperatura de dos canales

El Data logger testo 175 T2, modelo 0572 1752, mide y registra de manera continua la temperatura, de dos puntos diferentes, con una gran capacidad de almacenamiento de datos. Su uso principal está destinado a la medida simultánea de ambiente y espacios interiores, sin embargo, en este proyecto se usa para la toma de medidas de la entrada de colectores. Sus dimensiones son de 89 x 53 x 27 mm. En la figura III.3.1.8 se encuentra este registrador.



Figura III.3.1. 8 Registrador temperatura 05721752 [W-22].

Se puede situar sobre casi cualquier superficie con ayuda de tornillería y accesorios y/o con bridas [W-22]. Sus datos técnicos se recogen en la tabla III.3.1.8.

Tabla III.3.1. 8 Datos técnicos Registrador temperatura 05721752 [W-22].

### Datos técnicos Registrador temperatura 0572 1752

Rango de temperatura	35 hasta +55 °C
Exactitud de temperatura	±0,5 °C (-35 hasta +55 °C)
Resolución de temperatura	0,1 °C

### Sonda Integrada con funda de aluminio

Es la sonda que en este proyecto se ha empleado como canal externo del Registrador de temperatura 0572 1752, posee un manguito de aluminio y de punta plana con un sensor NTC, modelo 0628 7503, es adecuada para las mediciones de temperatura en líquidos y en aire. En la figura III.3.1.9 aparece esta sonda.



Figura III.3.1. 9 Sonda Integrada funda aluminio 06287503 [W-23].

El cable tiene una longitud total de 2,4 metros y es flexible, lo que permite situar la sonda en casi cualquier posición y situación [W-23]. Sus datos técnicos se recogen en la tabla III.3.1.9.

Tabla III.3.1. 9 Datos técnicos Sonda Integrada funda aluminio 06287503 [W-23].

### Datos técnicos Sonda Integrada funda aluminio 0628 7503

Rango de temperatura	-30 hasta +90 °C
Exactitud de temperatura	±0,2 °C (0 hasta +70 °C) ±0,5 °C (Resto rango)
Tiempo de respuesta $t_{90}$	190 s

### Medidor multifunción con sensor de presión

El medidor multifunción testo 435-4, modelo 0563 4354, posee un sensor de presión diferencial para la medición con tubo de Pitot o la supervisión de filtros, tiene adaptación a multitud de sondas, pudiendo realizar las mediciones necesarias en instalaciones de ventilación y aire acondicionado, y también para valorar la calidad del aire en interiores. Tiene una buena capacidad de memoria. Las medidas son de 220 x74 x 46 mm. En la figura III.3.1.10 se ve el registrador.



Figura III.3.1. 10 Registrador multifunción con sensor de presión 05634354 [W-24].

Se puede situar sobre casi cualquier superficie metálica gracias a los imanes en su parte posterior, para otras superficies se necesita de bridas u otros elementos para la correcta sujeción [W-24]. Sus datos técnicos se recogen en la tabla III.3.1.10.

Tabla III.3.1. 10 Datos técnicos Registrador multifunción con sensor de presión 05634354 [W-24].

#### Datos técnicos Registrador multifunción con sensor de presión 0563 4354

Temperatura de funcionamiento	-20 hasta +50 °C
Temperatura de almacenamiento	-30 hasta +70 °C
Peso	428 g

### Medidor multifunción

El medidor multifunción testo 435-2, modelo 0563 4352, tiene adaptación a multitud de sondas, pudiendo realizar las mediciones necesarias en instalaciones de ventilación y aire acondicionado, y también para valorar la calidad del aire en interiores. Tiene una buena capacidad de memoria. Las medidas son de 220 x 74 x 46 mm. En la figura III.3.1.10 se ve el registrador.



Figura III.3.1. 11 Registrador multifunción 05634352 [W-25].

Se puede situar sobre casi cualquier superficie metálica gracias a los imanes en su parte posterior, para otras superficies se necesita de bridas u otros elementos para la correcta sujeción [W-25]. Sus datos técnicos se recogen en la tabla III.3.1.11.

Tabla III.3.1. 11 Datos técnicos Registrador multifunción 05634352 [W-25].

#### Datos técnicos Registrador multifunción 0563 4352

Temperatura de funcionamiento	-20 hasta +50 °C
Temperatura de almacenamiento	-30 hasta +70 °C
Peso	428 g

### III.3.2 Colocación

#### Irradiación solar

Se ha situado el piranómetro anteriormente enseñado en una superficie inclinada a  $42^\circ$  (misma inclinación que los captadores), estando esta sobre una estructura de características similares a la que sostiene el sistema de colectores.

El elemento de medida se ha colocado unos metros por delante del sistema colector, para evitar sombreado por su parte, en la figura III.3.2.1 se ve la situación de este dispositivo.



*Figura III.3.2. 1 Situación medidor de la radiación solar.*

#### Ambiente

Las medidas del ambiente han sido de velocidad, temperatura y humedad, realizándose estas con varias opciones.

La medida de velocidad se ha hecho con la sonda de molinete, a una altura de 1,8 metros aproximadamente sobre el suelo de la cubierta y en el medio de las parejas de los captadores, se encuentra en la figura III.3.2.2.



*Figura III.3.2. 2 Situación sonda velocidad ambiente.*

Para la medida de temperatura, se han empleado dos opciones, una en la que solamente se mide esta variable con la sonda de penetración estanca (figura III.3.2.3) situándose detrás de la caja de transporte de sondas y en el medio de la pareja de colectores, y la otra usando un registrador de humedad y temperatura detrás de una protección solar (figura III.3.2.4), estando este a una altura cercana a los 0,5 m y entre las parejas de colectores.



Figura III.3.2. 3 Situación sonda temperatura ambiente



Figura III.3.2. 4 Situación registrador humedad y temperatura ambiente.

### Entrada de los colectores

En la entrada de los colectores se ha medido temperatura y humedad con el registrador correspondiente o solamente temperatura, empleando el registrador de dos canales. Para cualquiera de los tipos, se han situado a unos centímetros por debajo de la propia entrada del colector, usando bridas para su sujeción, como se ve en la ilustración izquierda de la figura III.3.2.5 y, a

posteriori, se han cubierto para evitar un sobrecalentamiento del material de medida, como se observa en la ilustración derecha de la figura III.3.2.5.



*Figura III.3.2. 5 Situación registradores en la entrada de los colectores.*

### Salida de los colectores

A la salida de los colectores se ha medido las variables de temperatura, humedad y velocidad, en función de la sonda empleada.

Usando la sonda de inmersión flexible solo se consigue medir temperatura, se ha realizado un pequeño agujero en la parte inferior del plénum, su situación se encuentra en la figura III.3.2.6.



*Figura III.3.2. 6 Situación sonda flexible en salida colector.*

Usando la sonda de penetración estanca también se mide únicamente la temperatura, se necesita de un agujero en la parte inferior del plenum, la situación de la sonda está en la figura III.3.2.7.



*Figura III.3.2. 7 Situación sonda de penetración en salida colector*

Para medir la temperatura y humedad, se puede usar la sonda de temperatura y humedad de la figura III.3.2.8, o la sonda de hilo caliente de la figura III.3.2.9, lo que permite medir adicionalmente la velocidad, hay que situar de manera muy precisa el hilo para que se encuentre perpendicular al vector del flujo saliente. Para ambas hay que realizar un orificio en el plenum del colector de unos 5 mm de diámetro. También se puede emplear un registrador de humedad y temperatura situándolo en el interior del plenum.



*Figura III.3.2. 8 Situación sonda de humedad y temperatura en salida colector.*



*Figura III.3.2. 9 Situación sonda de hilo caliente en salida colector.*

### **Medidores multifunción**

En cuanto a los medidores multifunción es conveniente que estén protegidos del sol incidente de alguna manera posible, ya sea abajo el trasportín de sondas de la figura III.3.2.3, aquí se encuentra el medidor que recoge los datos del ambiente, o con bolsas de plástico, como en la figura III.3.2.10. Los medidores tienen que estar lo suficientemente cerca de la salida de los colectores para que el cable de las sondas pueda llegar, aprovechando los imanes en su parte posterior se sitúan en la superficie metálica de la estructura lo más arriba posible.



*Figura III.3.2. 10 Situación medidores multifunción.*

## III.4 Banco de ensayos

### III.4.1 Ensayos del estudio térmico del sistema

Se han realizado ensayos varios días en distintas estaciones del año, concretamente en las de verano, otoño e invierno, para poder evaluar la eficiencia y el funcionamiento del colector según las condiciones en las que se encuentre.

Por otro lado, de todo lo que se ha querido medir, hay magnitudes que no se han podido por falta de sondas o registradores y por errores de colocación y puesta en marcha.

En el capítulo de Anexos se especifican las variables medidas y las sondas usadas correspondientes para los distintos días de pruebas.

#### Ensayo base

Fue el primer contacto con la toma de datos y medida de un colector, se usó un colector de dimensión grande, con un plenum no fabricado manualmente situado en la entrada, con otro muy rudimentario en la salida y con una estructura que cumplía el requisito de inclinación, pero no el de altura, como se ve en la figura III.4.1.1.



*Figura III.4.1. 1 Primer colector ensayado 05/07/2017.*

#### Primera etapa de pruebas

Para esta etapa se trabaja con todos los colectores, comprende desde el 1 de septiembre hasta el 22 de noviembre de 2017, pruebas realizadas en verano y otoño.

La distribución general ideal es la de la figura III.4.1.2.

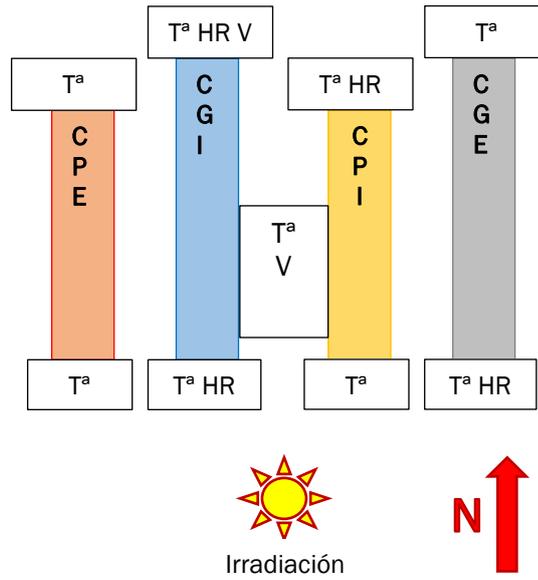


Figura III.4.1. 2 Distribución general primera etapa de pruebas.

### Segunda etapa de pruebas

Para esta segunda etapa se trabaja solamente con dos colectores, comprende desde el 12 de diciembre hasta el 21 del mismo mes de 2017, pruebas realizadas en otoño e invierno. Se ha reducido el número de captadores para tener más abanico de sondas y medir el máximo de parámetros posibles.

La distribución general ideal es la de la figura III.4.1.3.

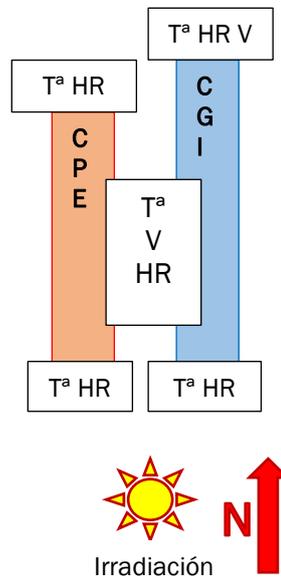


Figura III.4.1. 3 Distribución general segunda etapa de pruebas.

### III.4.2 Otros ensayos

Adicionalmente a los ensayos del estudio térmico del sistema, se ha realizado otra serie de ensayos para comprobar la resistencia, practicidad y viabilidad del sistema colector. Hay que tener de nuevo en cuenta el mero carácter educativo del proyecto y la simplificación de la norma ISO 9806 [N-3] que se ha realizado.

Por todo ello, se ha evaluado a dicho sistema frente a:

- Exposición a precipitaciones en forma de lluvia.
- Exposiciones a heladas nocturnas.
- Máquina de humo para evaluar el riesgo de fugas en el conducto de latas.
- Roces y pequeños golpes.

De manera alternativa, se ha contemplado la posibilidad de evaluar la estructura completa de los colectores frente a un temporal con fuerte viento y precipitaciones, al encontrarse de manera casual con ese frente atmosférico.

### RELACIÓN DE TABLAS

- Tabla III.3.1. 1 Datos técnicos Piranómetro FLA628S [44].
- Tabla III.3.1. 2 Datos técnicos Sonda molinete 06359335 [W-16].
- Tabla III.3.1. 3 Datos técnicos Sonda de hilo caliente 06351535 [W-17].
- Tabla III.3.1. 4 Datos técnicos Sonda de temperatura y humedad 06369735 [W-18].
- Tabla III.3.1. 5 Datos técnicos Sonda de inmersión flexible 06020593 [W-19].
- Tabla III.3.1. 6 Datos técnicos Sonda de penetración estanca 06021293 [W-20].
- Tabla III.3.1.7 Datos técnicos Registrador humedad y temperatura 05721754 [W-21]
- Tabla III.3.1. 8 Datos técnicos Registrador temperatura 05721752 [W-22].
- Tabla III.3.1. 9 Datos técnicos Sonda Integrada funda aluminio 06287503 [W-23].
- Tabla III.3.1. 10 Datos técnicos Registrador multifunción con sensor de presión 05634354 [W-24].
- Tabla III.3.1. 11 Datos técnicos Registrador multifunción 05634352 [W-25].

### RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura III.1.2. 1 Tapa de una lata de acero [39].
- Figura III.1.2. 2 Borde superior lata rallado con lija.
- Figura III.1.2. 3 Borde superior lata rallado con máquina.
- Figura III.1.2. 4 Base superior lata recortada con abrelatas
- Figura III.1.2. 5 Base superior lata recortada con tijeras.
- Figura III.1.2. 6 Base inferior lata eliminada con taladro vertical.
- Figura III.1.2. 7 Base inferior lata eliminada con martillo y punzón.
- Figura III.1.2. 8 Cordón de silicona del conducto de latas.
- Figura III.1.2. 9 Ennegrecimiento del conducto de latas.
- Figura III.1.2. 10 Vista exterior e interior del papel de aluminio en botella PET.
- Figura III.1.2. 11 Botella correspondiente con la entrada de aire del colector.
- Figura III.1.2. 12 Vista exterior e interior del plénum de salida con cinta aislante.
- Figura III.1.2. 13 Plénum de salida definitivos en dos colectores.
- Figura III.1.2. 14 Listones empleados como estructura soporte colectores.
- Figura III.1.2. 15 Colector unido a listón de estructura con bridas.
- Figura III.1.2. 16 Unión de los colectores con la estructura.
- Figura III.1.2. 17 Sistema de colectores montado.
- Figura III.1.2. 18 Elementos auxiliares para prueba de penetración por lluvia.
- Figura III.1.2. 19 Elementos auxiliares para protección interior del colector.
- Figura III.2.1. 1 Localización de la cubierta exterior [W-15].
- Figura III.2.1. 2 Posición del sistema en la cubierta [W-15].



- Figura III.2.1. 3 Disposición de los colectores en la cubierta.
- Figura III.2.2. 1 Sistema de colectores con magnitudes medidas.
- Figura III.3.1. 1 Piranómetro FLA628S [44].
- Figura III.3.1. 2 Sonda molinete 06359335 [W-16].
- Figura III.3.1. 3 Sonda de hilo caliente 06351535 [W-17].
- Figura III.3.1. 4 Sonda de temperatura y humedad 06369735 [W-18].
- Figura III.3.1. 5 Sonda de inmersión flexible 06020593 [W-19].
- Figura III.3.1. 6 Sonda de penetración estanca 06021293 [W-20].
- Figura III.3.1. 7 Registrador humedad y temperatura 05721754 [W-21].
- Figura III.3.1. 8 Registrador temperatura 05721752 [W-22].
- Figura III.3.1. 9 Sonda Integrada funda aluminio 06287503 [W-23].
- Figura III.3.1. 10 Registrador multifunción con sensor de presión 05634354 [W-24].
- Figura III.3.1. 11 Registrador multifunción 05634352 [W-25].
- Figura III.3.2. 1 Situación medidor de la radiación solar.
- Figura III.3.2. 2 Situación sonda velocidad ambiente.
- Figura III.3.2. 3 Situación sonda temperatura ambiente
- Figura III.3.2. 4 Situación registrador humedad y temperatura ambiente.
- Figura III.3.2. 5 Situación registradores en la entrada de los colectores.
- Figura III.3.2. 6 Situación sonda flexible en salida colector.
- Figura III.3.2. 7 Situación sonda de penetración en salida colector
- Figura III.3.2. 8 Situación sonda de humedad y temperatura en salida colector.
- Figura III.3.2. 9 Situación sonda de hilo caliente en salida colector.
- Figura III.3.2. 10 Situación medidores multifunción.
- Figura III.4.1. 1 Primer colector ensayado 05/07/2017.
- Figura III.4.1. 2 Distribución general primera etapa de pruebas.
- Figura III.4.1. 3 Distribución general segunda etapa de pruebas.



**CAPÍTULO IV:**

**RESULTADOS**

**Y**

**DISCUSIÓN**



## Contenidos del capítulo IV

<b>IV.1 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA.....</b>	<b>103</b>
<b>IV.1.1 Figuras y resultados .....</b>	<b>103</b>
Efecto de las pérdidas por la velocidad del viento .....	103
Efecto de la velocidad del viento sobre la velocidad de salida .....	105
Efecto de la irradiación y temperatura exterior .....	107
Cálculo del caudal de aire.....	111
Cálculo de la capacidad de calentamiento.....	114
<b>IV.1.2 Discusión.....</b>	<b>116</b>
<b>IV.2 OTROS ESTUDIOS.....</b>	<b>118</b>
<b>IV.2.1 Figuras y resultados .....</b>	<b>118</b>
Exposición a precipitaciones en forma de lluvia .....	118
Exposiciones a heladas nocturnas .....	118
Máquina de humo para evaluar el riesgo de fugas en el conducto de latas.....	119
Roces y pequeños golpes .....	122
Evaluación alternativa y accidental: Exposición a temporal con fuerte viento y precipitaciones .....	123
<b>IV.2.2 Discusión.....</b>	<b>124</b>



## IV.1 Estudio del comportamiento térmico del sistema

### IV.1.1 Figuras y resultados

En este apartado se recogen los efectos más relevantes encontrados que afectan a la eficiencia térmica y al funcionamiento del sistema de colectores, así como el estudio del cálculo de resultados más importantes. De toda la toma de datos conseguida, se presentan aquellos más destacados con el análisis correspondiente, con la intención de apreciar, de la mejor forma posible, la dependencia entre los efectos y la eficiencia.

#### Efecto de las pérdidas por la velocidad del viento

El efecto del viento del ambiente que rodea al sistema de colectores tiene una relación importante sobre su eficiencia, sin embargo, resulta muy complicada su caracterización.

Se puede observar el impacto del viento en los prototipos comparando la variación del salto de temperaturas entre la entrada y salida de un colector unidad y la evolución de la velocidad del aire en el ambiente para los mismos instantes de tiempo.

Los ejemplos que mejor reflejan este efecto son los del colector CPE para el día 01/09/2017, como se muestra en la figura IV.1.1.1, y los del día 03/10/2017, para el mismo colector CPE que se encuentran en la figura IV.1.1.2.

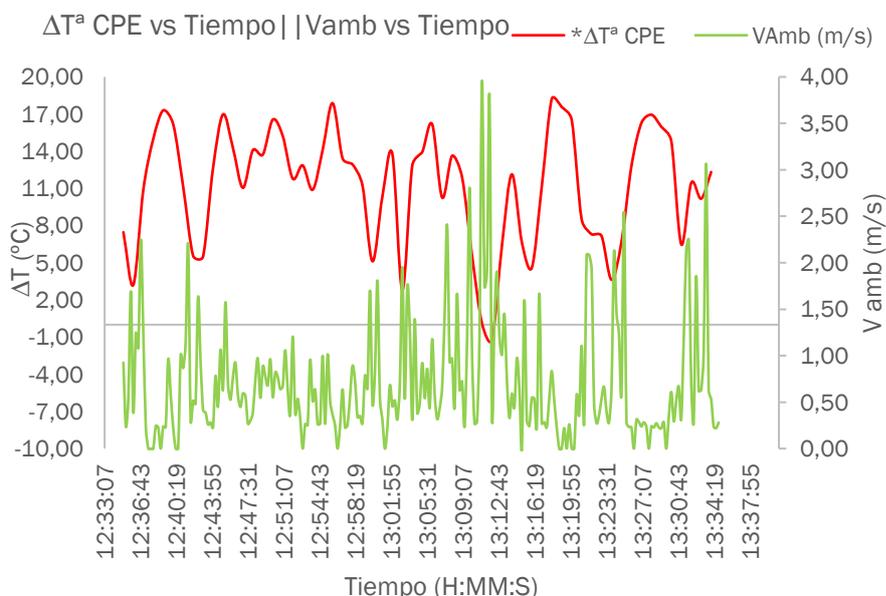


Figura IV.1.1. 1 Variación de salto de temperaturas y velocidad del aire en el tiempo CPE-01/09/2017.

Para la figura IV.1.1.1, destaca sobremanera el pico más bajo del salto de temperaturas, que tiene un valor negativo, esto indica que el efecto del viento exterior ha impedido el correcto desarrollo del efecto chimenea que teóricamente se debe producir en los colectores

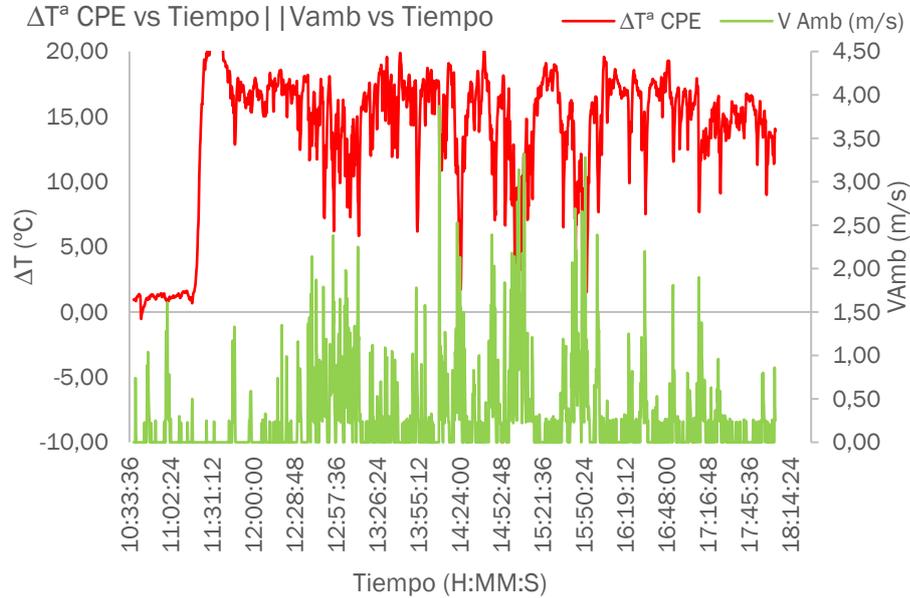


Figura IV.1.1. 2 Variación de salto de temperaturas y velocidad del aire en el tiempo CPE-03/10/2017.

Para esta figura IV.1.1.2 no se aprecian valores negativos del salto de temperaturas, aún así no se puede asegurar con certeza que el efecto chimenea aquí funcione correctamente.

Como se ha representado en ambos ejemplos, el salto de temperaturas Salida-Entrada del captador es de menor magnitud cuando la velocidad del ambiente es mayor, se observa que los picos de caída del salto se corresponden con los picos más altos de la velocidad del ambiente, lo que supone una pérdida de la efectividad del colector.

No solo pasa para el CPE de los anteriores ejemplos, los resultados son similares para los cuatro captadores, en la figura IV.1.1.3, se observa fácilmente la complementariedad de resultados entre CGI y CPI para fecha 01/09/2017, también se observa la dependencia entre la alta velocidad del viento del ambiente y los bajos resultados de la diferencia de temperaturas entre la salida y la entrada de los colectores.

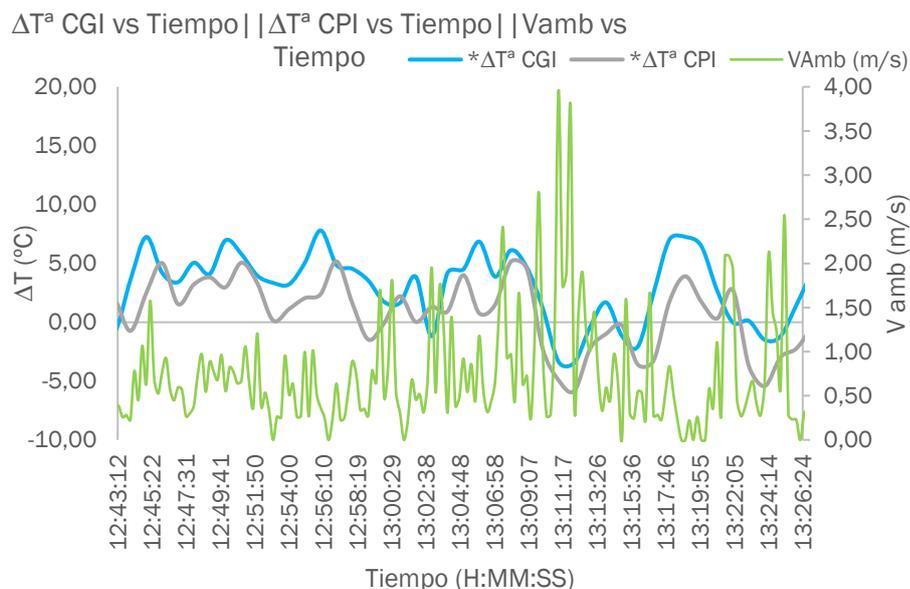


Figura IV.1.1. 3 Variación de salto de temperaturas y velocidad del aire en el tiempo CPI-CGI-01/09/2017.

Para esta figura IV.1.1.3, despunta de nuevo y de manera más notoria, la cantidad de resultados con salto de temperaturas negativo, lo que supone que hay que asumir que el efecto de convección natural que debería realizarse en el interior en cada captador está siendo impedido.

Todas las figuras del apartado presentan la dependencia entre el salto de temperaturas del captador y la velocidad del viento en el ambiente, lo que sitúa este efecto como uno de los más importantes a controlar en la consecución de un colector eficiente.

### Efecto de la velocidad del viento sobre la velocidad de salida

Al igual que en el apartado anterior, el viento circundante a los colectores del ambiente también afecta considerablemente al flujo pasante por cada captador, circunstancia que se ve reflejada en la figura IV.1.1.4, donde se representa la velocidad del ambiente y la de salida del captador CGI en la fecha 01/09/2017 en función del tiempo.

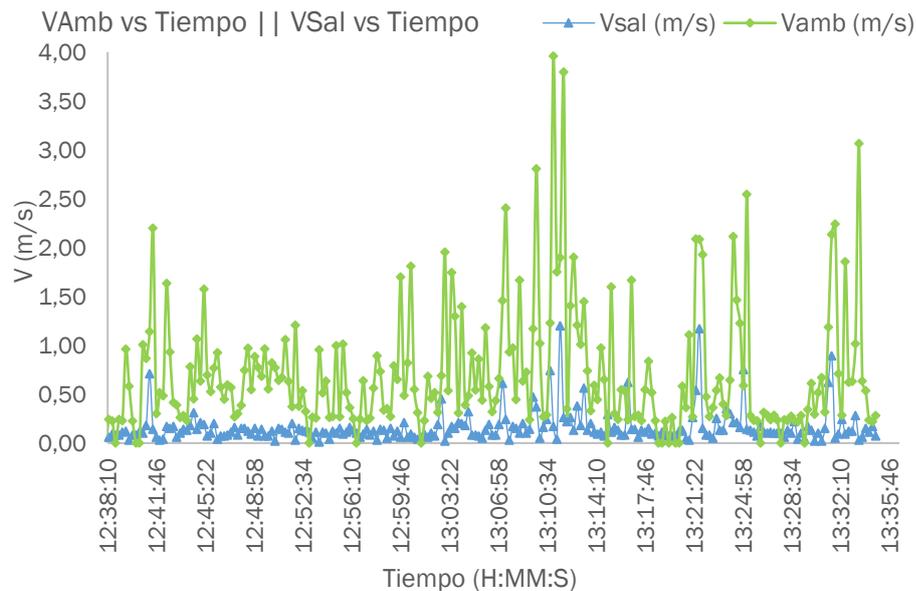


Figura IV.1.1. 4 Velocidad ambiente y velocidad de salida en función del tiempo CGI-01/09/2017.

Nótese que la velocidad a la salida del captador estudiado es, de manera general, más pequeña que la velocidad que se ha medido del viento en el ambiente.

Se han conseguido los datos de velocidad de salida más elevados en los correspondientes instantes de tiempo en los que la velocidad del viento del ambiente en la dirección longitudinal de los captadores es la más elevada también.

Este hecho puede ser consecuencia de que el viento del ambiente ejerza unas fuerzas de empuje en la dirección longitudinal del colector y sentido de circulación positivo del flujo de aire pasante por el colector, provocando ese aumento de la velocidad de salida.

Por otro lado, también puede ser consecuencia de que el aire exterior se introduzca, en sentido contrario al de circulación, en el plenum de salida del colector e influya en el elemento de medida de la sonda, consiguiendo, como ya se ha dicho, un dato de velocidad superior al que es habitual y, como se puede observar, este varía en un intervalo casi constante.

Es necesario, por lo tanto, realizar una criba de datos y analizar, una vez realizada la criba, el efecto chimenea en cada captador para únicamente aquellos datos que se encuentren con una velocidad del viento en el ambiente en calma.

Efecto de la irradiación y temperatura exterior

Aquí se compara el salto de temperaturas obtenido en función del tiempo y la irradiación disponible junto con la evolución en el tiempo de la temperatura exterior o del ambiente.

El efecto que produce la irradiancia sobre el salto de temperaturas es muy significativo y fácil de caracterizar, pero, por otro lado, el efecto de la temperatura exterior sobre la diferencia de temperaturas difícilmente se puede determinar.

Los ejemplos que mejor reflejan el efecto de la irradiancia son, para el colector CPI en fecha 22/11/2017 en la figura IV.1.1.5 y, para el colector CGI, en fecha 20/12/2017, representando también la temperatura ambiente en la figura IV.1.1.6.

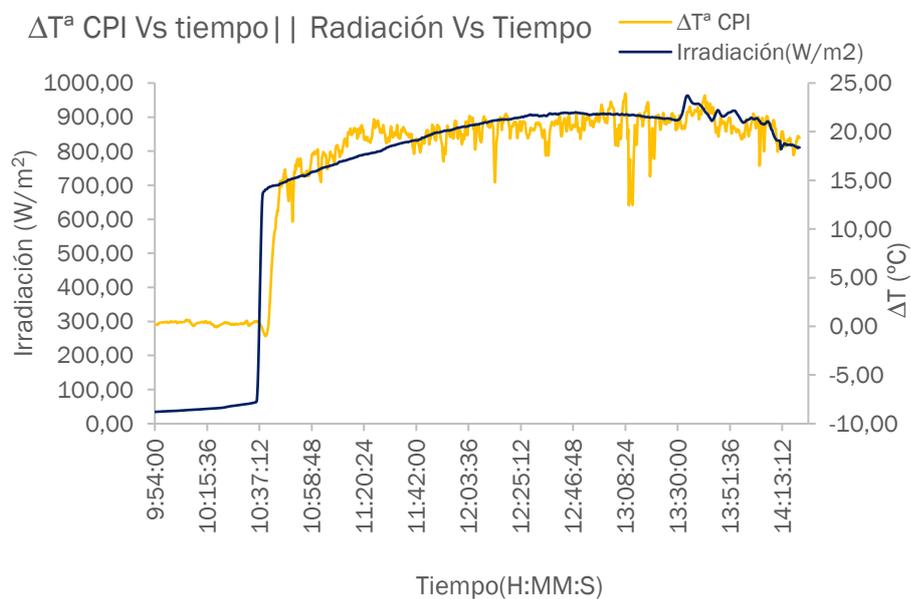


Figura IV.1.1. 5 Evolución de la irradiación y del salto de temperaturas en función del tiempo CPI-22/11/2017.

Como se observa en la figura IV.1.1.5, el salto de temperaturas realiza una evolución casi idéntica a la de la irradiación medida, salvo pequeñas perturbaciones de los valores del salto. También se asume que el efecto chimenea ahora está funcionando adecuadamente, al no encontrarse valores negativos del salto de temperaturas, entendiéndose que no está siendo impedido por cualquier otro efecto y viéndose favorecido por el de la irradiación.

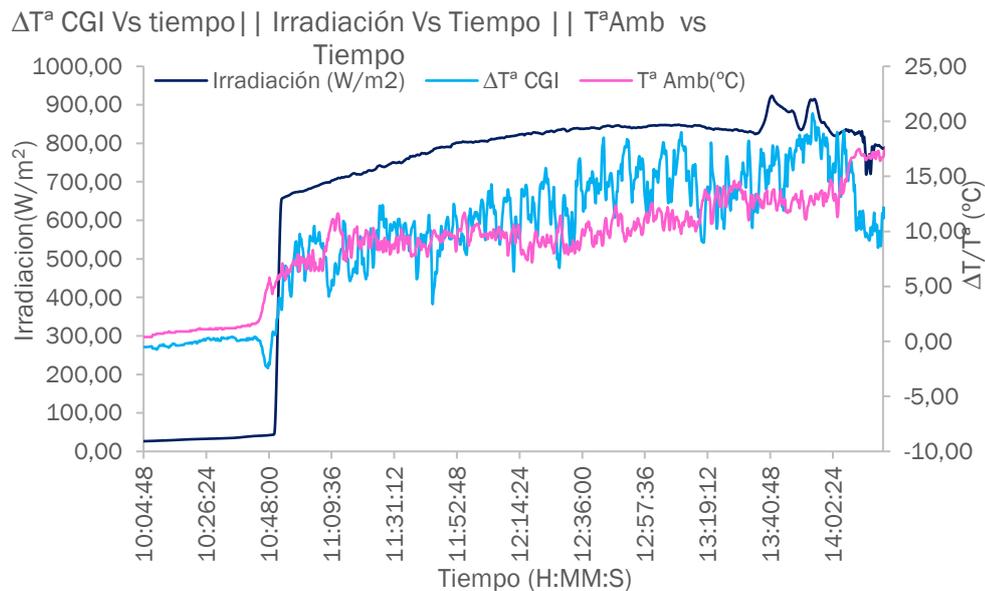


Figura IV.1.1. 6 Evolución de la Irradiación, del salto de temperaturas y de la temperatura ambiente en función del tiempo CGI-20/12/2017.

Para esta figura IV.1.1.6, no se puede establecer una correlación entre la temperatura del exterior y el salto de temperaturas, sin embargo, sí que se dan todas las características de la figura anterior en cuanto a la irradiación. Aprovechando que aquí sí que está representada la temperatura ambiente, se puede estimar a simple vista, que al no haber un salto negativo de temperaturas y que los valores obtenidos están relativamente lejos de alcanzarlo, que la temperatura de salida del colector puede resultar hasta el doble que la temperatura que se encuentre en el ambiente, situación ideal para conseguir una buena eficiencia en el prototipo.

Para casi todas las pruebas de medida de irradiación, se observa una pequeña perturbación, un pequeño resalto de los valores de la irradiación entre las 13:30 y las 14:00 h del día, el momento exacto de la perturbación varía en función de la época en la que se realice el experimento. Esto es debido a que se produce, de manera puntual, una incidencia de radiación solar reflejada por las ventanas de la pared de la universidad más cercana, situación que resulta imposible de evitar al encontrarnos en la cubierta. En la figura IV.1.1.7 se aprecian y se señalan las dos sombras que produce la radiación solar directa y la reflejada sobre la estructura del colector.



Figura IV.1.1. 7 Radiación reflejada por las ventanas de la fachada próxima al sistema de colectores.

Para comprobar que existe complementariedad de resultados, sea cual sea el colector y su posición salvo para circunstancias puntuales, se representa en la figura IV.1.1.8 la evolución del salto de temperaturas de los cuatro colectores en función del tiempo y la irradiación en el día 04/09/2017.

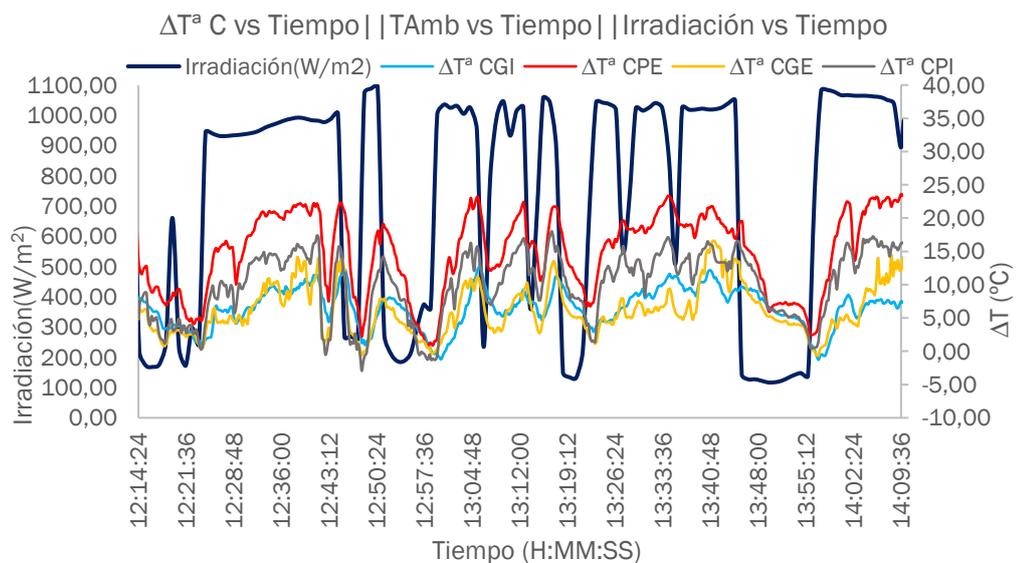


Figura IV.1.1. 8 Irradiación, temperatura ambiente y diferencia de temperaturas en función del tiempo CPE-CPI-CGE-CGI-04/09/2017.

La figura IV.1.1.8, vuelve a reflejar de nuevo la dependencia del salto de temperaturas con la irradiación y como circunstancia especial, en este día hay mucha variabilidad de los datos de la irradiación, alcanzado los valores medidos más bajos. Para estos datos de baja irradiación, se consigue también los saltos de temperatura más pequeños, llegando a ser incluso negativos, situación que indica que, para conseguir un buen funcionamiento del colector, se requiere una presencia casi continua de irradiación.

También se puede observar para la figura IV.1.1.9 en los colectores CPI y CGE para la fecha 05/09/2017, que la diferencia del salto de temperaturas crece antes para los colectores a los que el sol o la irradiación, incide primero, circunstancia que era de esperar.

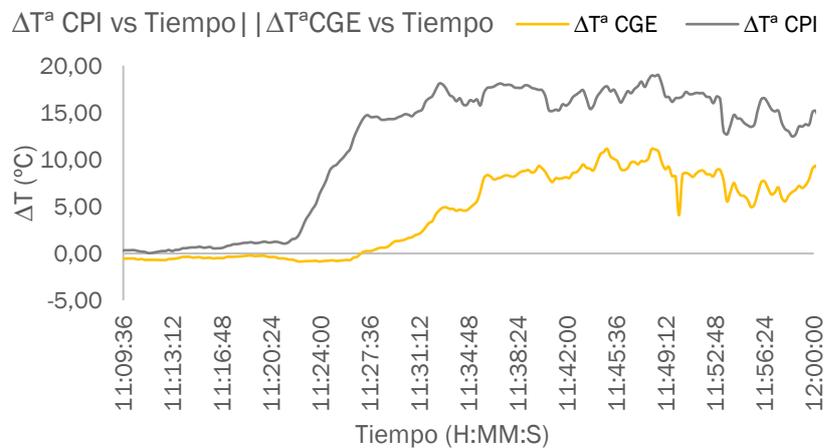


Figura IV.1.1. 9 Diferencia de temperaturas en función del tiempo CGE-CPI-05/09/2017.

Para algunas pruebas se observa un ligero retraso del incremento de diferencia de temperaturas con respecto a la irradiancia, esto es debido a que se ha producido durante la noche el fenómeno de rocío, como se muestra en la figura IV.1.1.10.



Figura IV.1.1. 10 Presencia de agua por efecto de rocío en las botellas a primera hora de la mañana.

### Cálculo del caudal de aire

Como se ha mencionado en el apartado del efecto de la velocidad del viento, para un primer acercamiento en el cálculo del caudal de aire de los colectores, no se ha tenido en cuenta a aquellos instantes de tiempo en los que la velocidad del viento era elevada, es decir, se han considerado solo los datos con ambiente en calma para centrarse únicamente en el efecto chimenea.

Se puede estimar el cálculo del caudal de aire generado por este efecto por la ecuación E-IV.1.1.1, estando este en m<sup>3</sup>/s [16]:

$$\dot{V} = A \cdot C_d \cdot \left( \frac{2}{\rho} \cdot \Delta P \right)^n \quad \text{E-IV.1.1. 1 Caudal de aire.}$$

Donde:

- A: Sección de paso de conducto, con diámetro medio de 0,05 m.
- C<sub>d</sub>: Coeficiente de descarga de valor 0,74.
- ρ: Densidad del aire con valor 1,29 kg/m<sup>3</sup> a 273 K.
- n: exponente de valor 0,5.
- ΔP: Diferencia de presiones que genera el flujo Pa.

La diferencia de presiones que genera el flujo se puede calcular con la ecuación E-IV.1.1.2 [16]:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot 273 \cdot \Delta h \cdot \left( \frac{1}{T_{ent}} - \frac{1}{T_{sal}} \right) \quad \text{E-IV.1.1. 2 Diferencia de presiones.}$$

Donde:

- ρ: Densidad del aire con valor 1,29 kg/m<sup>3</sup> a 273 K.
- g: Gravedad con valor 9,81 m/s<sup>2</sup>.
- T<sub>ent</sub>: Temperatura registrada a la entrada del colector K.
- T<sub>sal</sub>: Temperatura registrada a la salida del colector K.
- Δh: Diferencia de alturas entre la salida y entrada del colector m.

La diferencia de alturas del colector se calcula mediante la ecuación E-IV.1.1.3.

$$\Delta h = L \cdot \text{sen}(42) \quad \text{E-IV.1.1. 3 Diferencia de alturas.}$$

Donde:

- L: Longitud del prototipo, ya sea grande o pequeño.
- 42: grados de inclinación del colector para la latitud.

La relación existente entre el caudal y la velocidad de salida viene dada por la ecuación E-IV.1.1.4.

$$V = \frac{\dot{V}}{A} \quad \text{E-IV.1.1. 4 Velocidad de salida.}$$

Donde:

- A: Sección de paso de conducto, con diámetro medio de 0,05 m.
- $\dot{V}$ : Caudal de aire m<sup>3</sup>/s.

Se representan las velocidades teóricas obtenidas en el cálculo frente a las velocidades de salida medidas, teniendo en cuenta el criterio considerado como en calma, que es: velocidad ambiente  $\leq 0,3$  m/s.

La figura IV.1.1.11 se corresponde con esta representación para el CPE en fecha 18/12/2017 y, la figura IV.1.1.12 en fecha 20/12/2017 para el mismo colector.

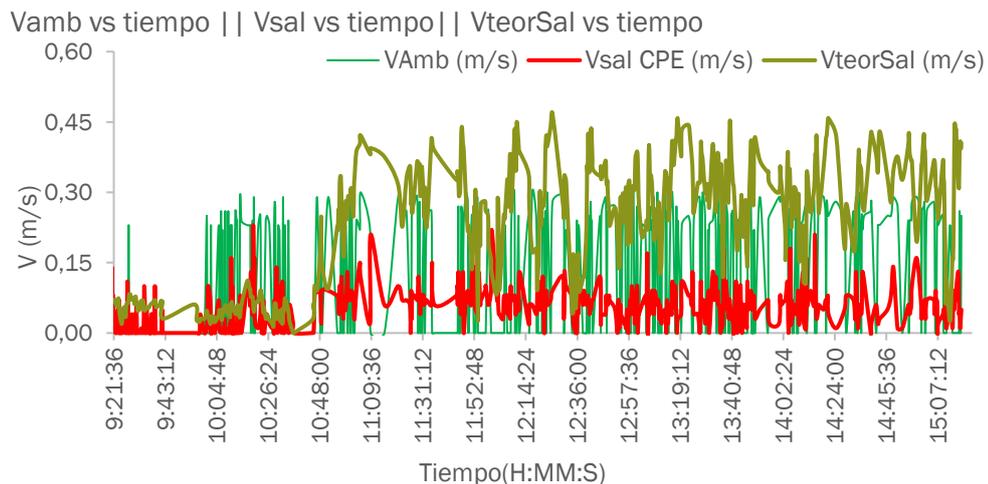


Figura IV.1.1. 11 Velocidades de aire del ambiente, salida y salida teórica en función del tiempo CPE-18/12/2017.

Para esta figura IV.1.1.11, se obtiene una velocidad de salida teórica con bastante variabilidad, pero siempre es cercana a su valor medio aproximado de 0,21 m/s. Sucede lo mismo para la velocidad de salida medida, aunque la variabilidad es algo menor, se mantiene siempre cerca de su valor medio de 0,05 m/s.

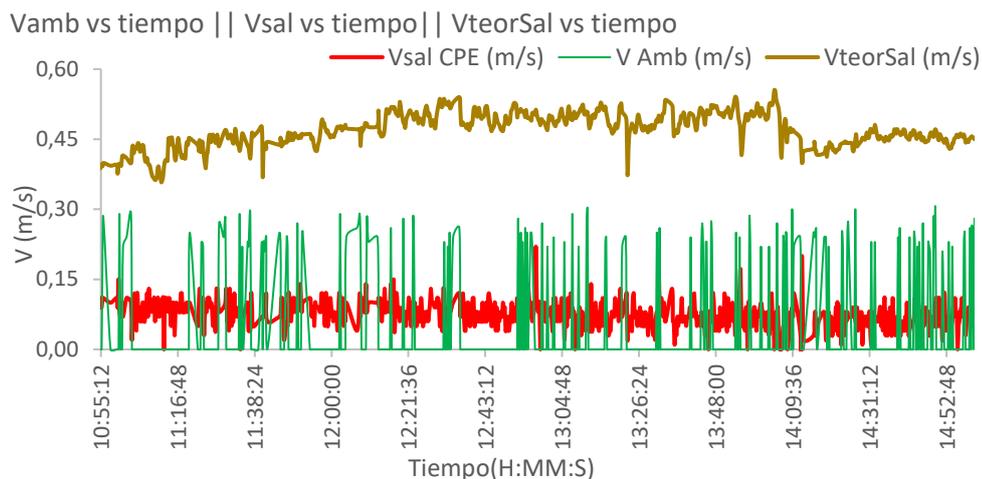


Figura IV.1.1. 12 Velocidades de aire del ambiente, salida y salida teórica en función del tiempo CPE-20/12/2017.

En esta figura IV.1.1.12, se encuentran valores de velocidades que casi no tienen variación respecto al valor medio de cada distribución, siendo este para la velocidad teórica de salida de valor 0,45 m/s y para la de salida medida de 0,07 m/s.

Las velocidades teóricas calculadas se corresponden con un valor aproximadamente de 5 veces mayor que el de las medidas reales correspondientes, aunque este valor varía ligeramente en función del día estudiado. Este hecho puede que sea motivado o que sea consecuencia directa de un inadecuado procedimiento de medida de la velocidad del aire a la salida de los colectores.

En cuanto a los valores de caudales obtenidos, estos son proporcionales a la velocidad calculada de forma constante, siendo el valor del área de la sección media de paso dicha constante, como bien señala la ecuación anteriormente vista: E-IV.1.1.4. Sin embargo, estos valores tienen una magnitud muy pequeña para las unidades del Sistema Internacional y, para una representación más adecuada, se emplean unidades de:  $\text{cm}^3/\text{s}$ , en la figura IV.1.1.13 se representa el caudal teórico de salida y el calculado a partir de los datos de la velocidad de salida del CPE en función del tiempo para la fecha 20/12/2017.

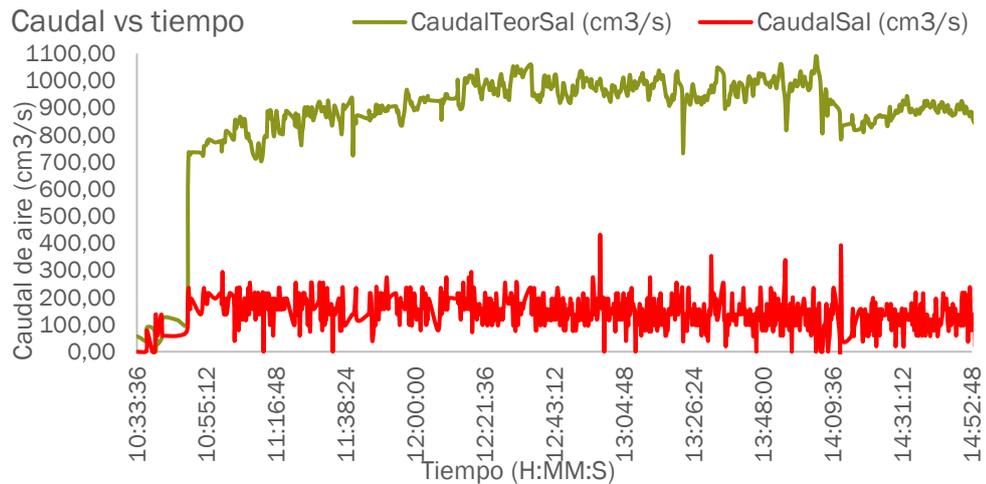


Figura IV.1.1. 13 Caudales de salida en función del tiempo CPE-20/12/2017.

Tal y como se podría esperar para la figura IV.1.1.13, la distribución en función del tiempo de los caudales es la misma que para las velocidades correspondientes, por lo que cumple con las mismas características de la figura IV.1.1.12.

### Cálculo de la capacidad de calentamiento

Para los caudales de aire anteriormente calculados de manera teórica, se puede obtener una magnitud de capacidad de calentamiento, en unidades de W, y determinando esta capacidad de calentamiento para cada colector. Se puede emplear la ecuación E-IV.1.1.5 [45] para su obtención:

$$Q = \dot{V} \cdot \rho \cdot Cp \cdot \Delta T^a \quad \text{E-IV.1.1. 5 Capacidad de calentamiento.}$$

Donde:

- Cp: Capacidad calorífica del aire, con valor 1012 J/kgK.
- $\Delta T^a$ : Diferencia de temperaturas salida-entrada K.
- $\rho$ : Densidad del aire con valor 1,29 kg/m<sup>3</sup> a 273 K.
- $\dot{V}$ : Caudal del aire m<sup>3</sup>/s.

En la figura IV.1.1.14 se representa la Capacidad de calentamiento y la Irradiación en función del tiempo para el colector CPE en fecha 20/12/2017, y, lo mismo, en la figura IV.1.1.15 para el CPI en fecha 22/11/2012.

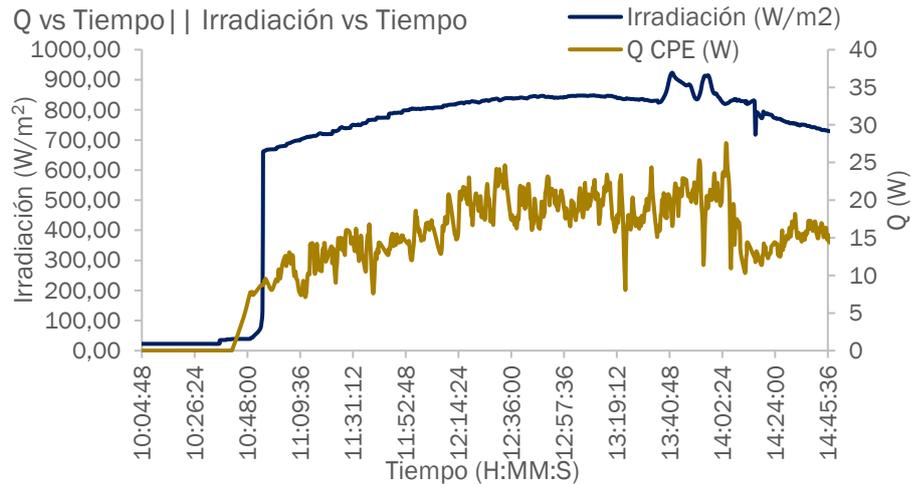


Figura IV.1.1. 14 Irradiación y Capacidad de calentamiento teórica en función del tiempo CPE-20/12/2017.

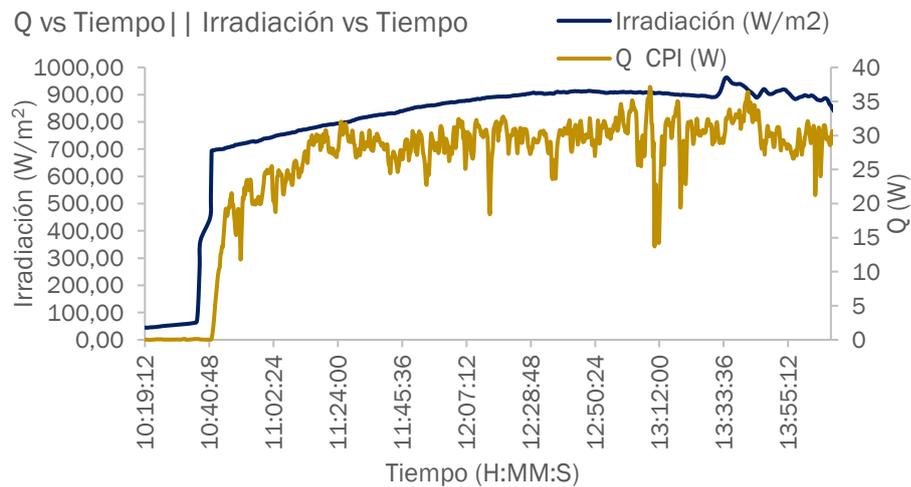


Figura IV.1.1. 15 Irradiación y Capacidad de calentamiento teórica en función del tiempo CPI-22/11/2017.

Para ambas figuras se puede observar la clara relación, o incluso dependencia, entre la Capacidad de calentamiento y la irradiación que llega a los prototipos de la cubierta, ya que ambas siguen una distribución similar. La Capacidad de calentamiento máxima encontrada es de 37,1 W y la media es de aproximadamente 20 W para cada instante de tiempo.

No se han representado la Capacidad de calentamiento según todas las medidas recogidas al haberse demostrado, en el punto anterior, el procedimiento inadecuado de medición en la velocidad de salida de los colectores.

### IV.1.2 Discusión

Del estudio del efecto de las pérdidas por la velocidad del viento se puede considerar cierta la premisa de que, cuando el viento del exterior sopla con más fuerza, se consiguen unos resultados peores, es decir, aumentan las pérdidas por convección desde el captador.

La situación anterior puede ser debida principalmente a que el colector prototipo no está adecuadamente diseñado en los extremos, se necesitaría algún elemento capaz de permitir la entrada y salida de aire correspondiente al conducto, pero que, a la vez, lo aislara del viento que rodea al sistema. Esta premisa, además, es independiente de la posición del colector en el conjunto, pues gracias a la similitud y complementariedad de resultados entre colectores, se afirma que cuando el viento del ambiente no está en calma, este consigue afectar casi por igual a todos los prototipos.

Siguiendo con el estudio del efecto de la velocidad del viento sobre la velocidad de salida del colector, se refleja de manera evidente que, ya sea por ejercer una fuerza de empuje en sentido positivo del flujo o por la intromisión del aire en el plenum de salida, los resultados están manipulados por el efecto externo del viento. Esta situación, obliga a efectuar una criba de los resultados, como se ha mencionado con anterioridad y, se manifiesta de nuevo, el diseño incorrecto del prototipo.

En cuanto al efecto de la irradiación y de la temperatura exterior sobre el sistema, se consigue admitir que la temperatura exterior es, al menos para este rango de trabajo, independiente de la diferencia de temperaturas obtenidas en el colector, situación idónea si se pretende funcionar en épocas frías donde la demanda de aire caliente es más demandada. No obstante, sería necesario realizar un análisis de sensibilidad y/o varianza de los parámetros estudiados, para poder afirmar con rotundidad la premisa anterior.

En cuanto a la irradiación, se reconoce como el efecto principal del que depende la efectividad del colector, pues se refleja una proporcionalidad entre el desarrollo temporal de esta y de la diferencia de temperaturas. Los resultados son similares para los cuatro prototipos, lo que hace pensar que la posición vuelve a ser independiente del resultado final, aunque es cierto que, para el CPE, se obtienen de manera general unos resultados mejores, salvo que este colector es el primer prototipo al que le llegan los rayos solares, no se evidencia otro motivo por el cual pueda ser este prototipo el más efectivo, ya que ni la longitud (es el de longitud pequeña) ni una mejor unión del conducto interior, ya que no hay variaciones de estanqueidad entre ellas (como se demostrará en el siguiente apartado del capítulo), se consideran factores determinantes.

## Capítulo IV Resultados y discusión

Gracias al cálculo del caudal teórico se certifica la inadecuación de la medida de las velocidades de salida de los colectores, la variabilidad entre los teóricos y los resultados medidos es lo suficientemente importante como para considerar únicamente los teóricos en el cálculo de la capacidad de calentamiento.

El cálculo de la capacidad de calentamiento vuelve a reflejar la dependencia principal de la irradiación sobre el colector y, además, permite ilustrar el valor de la energía calorífica obtenida para cada colector de manera totalmente limpia energéticamente hablando.

## IV.2 Otros estudios

### IV.2.1 Figuras y resultados

Estos ensayos se basan sobre los propuestos en la norma ISO 9806 [N-3], como ya se mencionó en el capítulo anterior, sin embargo, estos se han seleccionado, adecuado y adaptado a las limitaciones y consideraciones de los prototipos.

#### Exposición a precipitaciones en forma de lluvia

Para comprobar la impermeabilidad frente a lluvia de los conductos de latas se expuso el sistema durante dos días con lluvia moderada en la cubierta, se recuerda que los colectores contaban con los elementos auxiliares del apartado III.1.2 Fases - Elementos auxiliares, tanto los de protección como los de medida de penetración de agua. Se recuerda que las botellas estaban embebidas entre sí, dejando una pequeña superficie saliente en cada unión y que se diseñaron pensando en que esa superficie haría de barrera y de cubierta frente al agua, aprovechando la inclinación del colector para no acumular agua.

El resultado fue que, tras la exposición, no se encontró resto alguno de agua en los elementos de prueba, siendo, por lo tanto, acertada la decisión de diseño considerada.

#### Exposiciones a heladas nocturnas

En días de invierno el sistema de colectores estuvo expuesto por la noche a bajas temperaturas y a un cielo despejado, es decir, sin lluvia ni intervalos nubosos, el resultado fue el de la figura IV.2.1.1, independientemente de la posición del colector. La parte superficial externa del conducto de botellas estaba helado, sin embargo, el tubo de latas no tenía muestra alguna de congelación.



Figura IV.2.1. 1 Resultado exposición heladas nocturnas.

### Máquina de humo para evaluar el riesgo de fugas en el conducto de latas

Para comprobar las fugas del conducto interno de los colectores se ha empleado una máquina de humo, adaptando y embutiendo el diámetro de salida del humo de la máquina al de la entrada del tubo de las latas con bridas y un material aislador como se aprecia en la figura IV.2.1.2.



Figura IV.2.1. 2 Ajuste máquina de humo – conducto de latas.

Se han realizado dos pruebas distintas, una dejando libre la salida del colector y la otra taponando dicha salida, para ejercer así una presión en el tubo y forzar al humo entrante a buscar una posible fuga interna del conducto, por muy pequeña que sea esta. El resultado en todos los colectores es que no hay fuga alguna a lo largo del conducto de latas, en las siguientes figuras se aprecia la salida del humo por donde debe corresponder para que esto se cumpla.

El resultado del CGE, señalando el humo, es: para la prueba de libre salida la figura IV.2.1.3 y, para la prueba con la salida taponada, el de la figura IV.2.1.4.

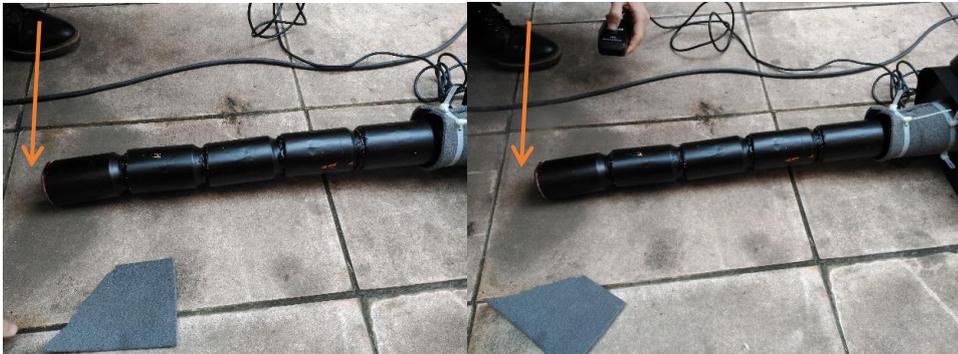


Figura IV.2.1. 3 Prueba fugas internas CGE salida libre.

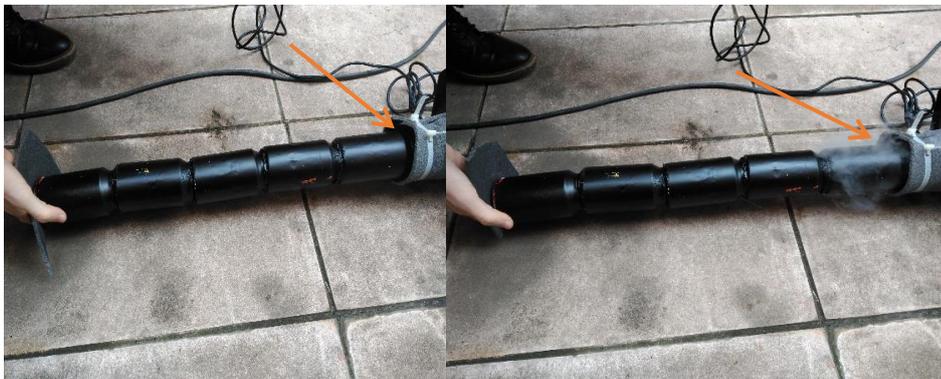


*Figura IV.2.1. 4 Prueba fugas internas CGE salida taponada.*

El resultado del CPI, señalando el humo, es: para la prueba de libre salida la figura IV.2.1.5 y, para la prueba con la salida taponada, el de la figura IV.2.1.6.



*Figura IV.2.1. 5 Prueba fugas internas CPI salida libre.*



*Figura IV.2.1. 6 Prueba fugas internas CPI salida taponada.*

El resultado del CGI, señalando el humo, es: para la prueba de libre salida la figura IV.2.1.7 y, para la prueba con la salida taponada, el de la figura IV.2.1.8.



Figura IV.2.1. 7 Prueba fugas internas CGI salida libre.



Figura IV.2.1. 8 Prueba fugas internas CGI salida taponada.

El resultado del CPE, señalando el humo, es: para la prueba de libre salida la figura IV.2.1.9 y, para la prueba con la salida taponada, la figura IV.2.1.10.



Figura IV.2.1. 9 Prueba fugas internas CPE salida libre.



Figura IV.2.1. 10 Prueba fugas internas CPE salida taponada.

### Roces y pequeños golpes

Los conductos de latas se han visto afectados por roces y pequeños golpes durante su montaje y desmontaje del conjunto, ya fuera para su correcta colocación en la cubierta, para el transporte de estos, o para la medida de otras pruebas.

El resultado frente a roces es el de la figura IV.2.1.11 y, para pequeños golpes en los que la lata se abolla ligeramente, es el de la figura IV 2.1.12, la pintura se resquebraja y se pierde como en la figura IV.2.1.13.



*Figura IV.2.1. 11 Roce en el conducto de latas.*



*Figura IV.2.1. 12 Pequeños golpes y abolladuras en el conducto de latas.*



*Figura IV.2.1. 13 Pintura resquebrajada en el conducto de latas.*

### Evaluación alternativa y accidental: Exposición a temporal con fuerte viento y precipitaciones

La exposición del sistema de colectores en la cubierta durante un temporal atmosférico con esas características permite comprobar la resistencia estructural de la construcción en conjunto y aprobar la viabilidad o aptitud de la estructura en varias condiciones ambientales, aunque esto último no sea objetivo primario del estudio ni del proyecto. El resultado fue el de la figura IV.2.1.14.



*Figura IV.2.1. 14 Resultado de exposición a temporal atmosférico con fuertes vientos y precipitaciones.*

Como se puede observar, más de la mitad de la estructura está derrumbada y/o desplazada de su posición original, varios protectores de los elementos auxiliares destinados a la protección del colector están fuera de su sitio y otros no se encontraban ni en la cubierta. A pesar de esto, el conducto de latas de los colectores, los plenums y el conducto de botellas, no se estropearon, pudiendo recolocar todo con normalidad.

### IV.2.2 Discusión

En cuanto a la prueba de exposición a precipitaciones en forma de lluvia, se puede admitir que el sistema de colectores, cuando no está trabajando, es impermeable frente al agua, tan solo ha hecho falta colocar unas protecciones o recubrimientos de plástico (bolsas provenientes de supermercados locales) para garantizar esa estanqueidad interior. Esto permite que, en ausencia de precipitaciones y con el sistema listo para la puesta en marcha, funcione adecuadamente desde los primeros rayos de sol incidentes.

Respecto a la prueba de exposición a heladas nocturnas en donde se evidencia la congelación superficial del conducto de botellas, se puede decir que este hecho provoca que cuando se desee hacer funcionar a los colectores, los primeros resultados no serán lo suficientemente adecuados, ya que habrá que esperar a la eliminación de esa capa, para que así la radiación solar puede llegar a la superficie interior absorbidora. Como resultado positivo de esta prueba, se tiene que el tubo de latas no se ve casi afectado, lo que permite que la puesta en marcha de nuevo del colector se haga con mayor rapidez.

De la prueba con la máquina de humo, que sirve para comprobar si hay fugas internas de la parte absorbidora en los distintos colectores, se permite afirmar que son completamente estancos en cuanto al conducto de latas se refiere, ya que como se ha visto, el humo nunca sale por las uniones entre latas ni por algún agujero que pudieran tener estas, este hecho corrobora que la construcción de los prototipos, tal y como se menciona en el capítulo anterior, es, como mínima, válida para conseguir la unión conveniente del conducto.

Siguiendo con el estudio de los conductos interiores frente a roces y pequeños golpes, hay que decir que estas secuelas de han producido de manera accidental, sin que los colectores las sufrieran de manera premeditada, situación que conlleva a concluir que el colector prototipo es sensible a un manejo inadecuado. La consecuencia principal y, que perjudica a la eficiencia del colector, es la pérdida localizada de pintura negra y, por consiguiente, de la parte absorbidora del colector. La última consecuencia, de necesitar sustituir las latas, no tendría gravedad alguna pues se cuenta con una elevada disponibilidad de esos materiales reutilizados.

En cuanto a la evaluación frente a la exposición accidental a temporal con fuerte viento y precipitaciones, se demuestra que la estructura que se había planteado para el sistema es inadecuada para una estancia permanente en el exterior y también que las protecciones que se habían colocado no eran lo suficientemente resistentes, por lo que es necesario un cuidadoso diseño de la estructura soporte. Si bien, se admite que el conducto de botellas PET embutidas protege bastante bien al conducto de latas y que su sujeción simple con bridas es suficiente para esta función.

### RELACIÓN DE ECUACIONES

- E-IV.1.1. 1 Caudal de aire.
- E-IV.1.1. 2 Diferencia de presiones.
- E-IV.1.1. 3 Diferencia de alturas.
- E-IV.1.1. 4 Velocidad de salida.
- E-IV.1.1. 5 Capacidad de calentamiento.

### RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura IV.1.1. 1 Variación de salto de temperaturas y velocidad del aire en el tiempo CPE-01/09/2017.
- Figura IV.1.1. 2 Variación de salto de temperaturas y velocidad del aire en el tiempo CPE-03/10/2017.
- Figura IV.1.1. 3 Variación de salto de temperaturas y velocidad del aire en el tiempo CPI-CGI-01/09/2017.
- Figura IV.1.1. 4 Velocidad ambiente y velocidad de salida en función del tiempo CGI-01/09/2017.
- Figura IV.1.1. 5 Evolución de la irradiación y del salto de temperaturas en función del tiempo CPI-22/11/2017.
- Figura IV.1.1. 6 Evolución de la Irradiación, del salto de temperaturas y de la temperatura ambiente en función del tiempo CGI-20/12/2017.
- Figura IV.1.1. 7 Radiación reflejada por las ventanas de la fachada próxima al sistema de colectores.
- Figura IV.1.1. 8 Irradiación, temperatura ambiente y diferencia de temperaturas en función del tiempo CPE-CPI-CGE-CGI-04/09/2017.
- Figura IV.1.1. 9 Diferencia de temperaturas en función del tiempo CGE-CPI-05/09/2017.
- Figura IV.1.1. 10 Rocío en las botellas a primera hora de la mañana.
- Figura IV.1.1. 11 Velocidades de aire del ambiente, salida y salida teórica en función del tiempo CPE-18/12/2017.
- Figura IV.1.1. 12 Velocidades de aire del ambiente, salida y salida teórica en función del tiempo CPE-20/12/2017.
- Figura IV.1.1. 13 Caudales de salida en función del tiempo CPE-20/12/2017.
- Figura IV.1.1. 14 Irradiación y Capacidad de calentamiento teórica en función del tiempo CPE-20/12/2017.
- Figura IV.1.1. 15 Irradiación y Capacidad de calentamiento teórica en función del tiempo CPI-22/11/2017.
- Figura IV.2.1. 1 Resultado exposición heladas nocturnas.
- Figura IV.2.1. 2 Ajuste máquina de humo – conducto de latas.
- Figura IV.2.1. 3 Prueba fugas internas CGE salida libre.
- Figura IV.2.1. 4 Prueba fugas internas CGE salida taponada.



## Capítulo IV Resultados y discusión

Figura IV.2.1. 5 Prueba fugas internas CPI salida libre.

Figura IV.2.1. 6 Prueba fugas internas CPI salida taponada.

Figura IV.2.1. 7 Prueba fugas internas CGI salida libre.

Figura IV.2.1. 8 Prueba fugas internas CGI salida taponada.

Figura IV.2.1. 9 Prueba fugas internas CPE salida libre.

Figura IV.2.1. 10 Prueba fugas internas CPE salida taponada.

Figura IV.2.1. 11 Roce en el conducto de latas.

Figura IV.2.1. 12 Pequeños golpes y abolladuras en el conducto de latas.

Figura IV.2.1. 13 Pintura resquebrajada en el conducto de latas.

Figura IV.2.1. 14 Resultado de exposición a temporal atmosférico con fuertes vientos y precipitaciones.



**CAPÍTULO V:**

**FUNDAMENTOS**

**DEL**

**CICLO DE VIDA**

**Y**

**ESTUDIO**

**ECONÓMICO**



### Contenidos del capítulo V

<b>V.1 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA .....</b>	<b>133</b>
V.1.1 Definición y etapas .....	133
V.1.2 Singularizaciones planteadas .....	134
V.1.3 Base para el ACV del prototipo.....	134
Adquisición de materias primas .....	134
Producción y fabricación .....	134
Embalaje, distribución y transporte.....	135
Uso y mantenimiento .....	135
Reutilización y reciclaje.....	135
Gestión de los residuos.....	135
<b>V.2 ESTUDIO ECONÓMICO .....</b>	<b>136</b>
V.2.1 Introducción .....	136
V.2.2 Costes directos.....	136
Costes de personal.....	136
Costes de material .....	139
Costes directos totales.....	140
V.2.3 Costes indirectos.....	140
V.2.4 Coste total .....	141



### V.1 Análisis del ciclo de vida

#### V.1.1 Definición y etapas

El análisis del ciclo de vida, siglas ACV, es un procedimiento caracterizado por ser objetivo, que, posibilita analizar, respecto a un producto, actividad o proceso, las cargas ambientales. Es una herramienta en las estrategias de mejora ambiental, ya que identifica y cuantifica las emisiones y el impacto de la energía y el material empleado [N-5].

Las principales etapas del ACV, serían [W-26]:

- **Adquisición de materias primas:** aquellas actividades dedicadas a extracción y el transporte de las materias primas antes de la producción. Los impactos más importantes de esta etapa son la degradación y erosión de la tierra y las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero. También hay que tener en cuenta la posible peligrosidad y toxicidad de las materias [W-27].
- **Producción y fabricación:** actividades consistentes en convertir las materias primas en el producto. El impacto ambiental se centra en la energía necesaria para la fabricación y en los residuos correspondientes a este proceso. La mayoría de los desechos son recuperables, pero no siempre es rentable económicamente.
- **Embalaje, distribución y transporte:** actividades consecuencias de estas funciones. El impacto viene desde las emisiones de gases contaminantes en el transporte, hasta la energía empleada en el embalaje.
- **Uso y mantenimiento:** se corresponde con un elevado consumo energético y de recursos asociados, incluye la energía eléctrica que emplea el producto si este la necesita, así como el transporte para el mantenimiento o la reparación. El impacto del consumo energético está directamente relacionado con la eficiencia del equipo: a más eficiencia, menos consumo asociado [W-27].
- **Reutilización y reciclaje:** esta fase empieza cuando el producto ha cumplido con su función con la que fue diseñada. El producto usado puede entrar de nuevo en la cadena de producción con otras características (ciclo cerrado) o formar parte de otro sistema de producto (ciclo abierto).
- **Gestión de los residuos:** empieza cuando el producto no se puede o no se quiere aprovechar más. Almacenándolo en vertederos hasta su eliminación.

### V.1.2 Singularizaciones planteadas

Para los prototipos del proyecto estudiados hay que tener en cuenta que la gran mayoría de los productos empleados en su construcción, ya han sido empleados anteriormente cumpliendo con las funciones con las que fueron fabricados.

Esta situación, hace que nos encontremos dentro de la etapa de reciclado y de reutilización del ciclo de vida de varios productos, para dar una segunda vida a los mismos. Aunque el ACV de los prototipos se realizará con todas las fases.

### V.1.3 Base para el ACV del prototipo

#### Adquisición de materias primas

Las materias primas de los cuatro colectores consisten en:

- Latas de refrescos: obtenidas tras su consumo en diferentes entornos, el transporte de las mismas hasta el laboratorio no supone consumo energético de transporte al llevar el material aprovechando el viaje habitual.
- Botellas PET: obtenidas tras su consumo, sucede lo mismo que para las latas de refrescos con el transporte.
- Silicona: comprada en el centro comercial, requiere de un consumo energético de transporte.
- Espray, papel de aluminio, cinta adhesiva y aislante: sacado de existencias en el almacén del laboratorio.
- Bridas, tornillos, tuercas y arandelas: existencias en el almacén del laboratorio. Posibilidad de reutilización.
- Listones metálicos: sin usar en el almacén del laboratorio, posibilidad de reutilización.

#### Producción y fabricación

Para la producción de los prototipos finales, solamente se ha empleado energía humana, salvo la energía eléctrica necesaria para iluminar la estancia de trabajo.

Las herramientas empleadas para la adecuación de las latas y botellas al diseño final, como las tijeras, martillo o punzón, no requerían del uso de energía eléctrica.

Se han generado una cantidad de residuos mínima, consistente principalmente en latas excesivamente dañadas y en los recortes del plástico de las botellas como de las caras de las latas.

## Capítulo V Fundamentos del ciclo de vida y Estudio económico

### Embalaje, distribución y transporte

Los prototipos no han necesitado de embalaje alguno, por lo que no hay consecuencias de esta función.

En cuanto a la distribución y transporte, se ha necesitado en algunas ocasiones del uso del ascensor de la universidad, para mover el equipo a la cubierta en la que se ha trabajado. Esto supone un consumo de energía eléctrica no muy notorio.

### Uso y mantenimiento

El uso de los prototipos no requiere de ningún consumo energético asociado, ya que se fundamentan en efectos naturales.

El mantenimiento ha consistido en colocar la estructura cuando había algún movimiento, o en apretar las tuercas de las uniones de la misma, por lo que tampoco hay gasto energético asociado, salvo quizás, el uso del ascensor para subir a la cubierta.

### Reutilización y reciclaje

El sistema de colectores puede emplearse de manera efectiva hasta que la superficie captadora del tubo de latas pierda la pintura o hasta que se produzca algún accidente que dañe notablemente los conductos.

Los listones metálicos pueden volver a ser utilizados como patas de estanterías. Las bridas, arandelas, tuercas y tornillos tienen gran cantidad de vidas útiles futuras.

El plástico de las botellas y las latas no dañadas pueden ser reutilizados para una función similar o desechados.

### Gestión de los residuos

Los residuos de las distintas etapas se depositarán en los contenedores de residuos correspondientes de la localidad, donde se recogerán y se llevarán a las plantas de tratamiento estimadas.

## V.2 Estudio económico

### V.2.1 Introducción

Se incluye el coste de los diferentes medios utilizados como pueden ser el del uso de los equipos o las horas de trabajo, lo que no se incluye en el estudio es el coste derivado de equipos o sondas nuevas que se hayan adquirido durante la realización de este proyecto.

Como se determinará en el último apartado, el coste total del proyecto es la suma de los costes directos e indirectos.

- **Costes directos** o variables: aquellos que se identifican directamente a una unidad de producción. Para este proyecto se desglosan los costes de personal, amortización de los equipos usados y mantenimiento de oficina.
- **Costes indirectos** o fijos: aquellos que no se identifican directamente a una unidad de producción, dependen de algún criterio para repartirse entre las unidades o servicios que hayan intervenido. Para este proyecto se desglosan los costes indirectos de climatización, servicios administrativos, etc.

### V.2.2 Costes directos

#### Costes de personal

Directamente proporcionales al número de horas que haya invertido cada persona participante de este proyecto en función de su puesto. Para este proyecto han intervenido un ingeniero y un tutor.

Las horas trabajadas por cada uno se determinan dividiendo el tiempo de realización del proyecto en las diferentes etapas:

- **Planteamiento** general y objetivos.
- **Recopilación** de documentación del estudio realizado.
- Construcción y **experimentación** del prototipo.
- **Análisis** de resultados y obtención de conclusiones.
- **Redacción** del documento final y memoria.

En la figura V.2.2.1 se representa gráficamente el número de horas empleadas en cada una de las etapas anteriores por cada miembro trabajador del proyecto.

## Capítulo V Fundamentos del ciclo de vida y Estudio económico

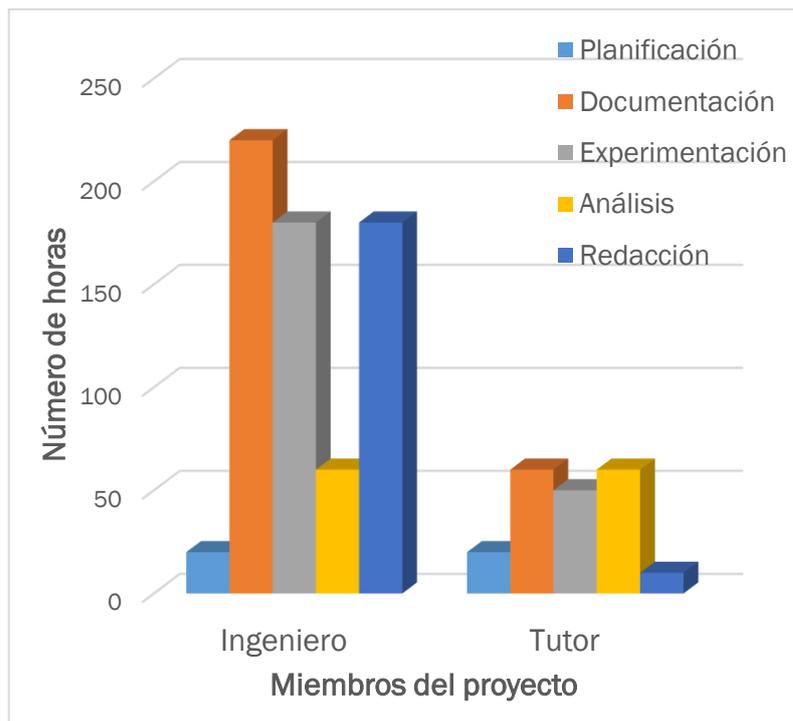


Figura V.2.2. 1 Distribución de horas invertidas por función en cada puesto

El desarrollo temporal del proyecto y el solapamiento de etapas se tiene representado en el diagrama de Gantt de la figura V.2.2.2.

TIEMPO	JUN				JUL				AGO				SEP				OCT				NOV				DIC				ENE				FEB				MAR			
ETAPA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
PLANIFICACIÓN	█																																							
DOCUMENTACIÓN	█	█	█	█									█	█																										
EXPERIMENTACIÓN													█	█	█	█	█	█	█	█																				
ANÁLISIS													█	█																										
REDACCIÓN																													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Figura V.2.2. 2 Diagrama de Gantt del desarrollo del proyecto.

Ahora se debe calcular el coste de cada hora de trabajo para cada persona, en función de:

- Horas efectivas de trabajo anuales.
- Sueldo bruto.
- Incentivos.
- Cotizaciones a la seguridad Social.

Para la tabla V.2.2.1. se representan las horas efectivas de trabajo anuales.

Tabla V.2.2. 1 Cálculo de las horas efectivas empleadas en un año.

CONCEPTO	CANTIDAD
Año medio	365 días
Sábados y Domingos	104 días
Días efectivos de vacaciones	20 días
Días festivos reconocidos	13 días
Días perdidos estimados	6 días
Total días efectivos por año	222 días
Horas de trabajo diarias	8 horas
<b>Horas efectivas estimadas</b>	<b>1776 h/año</b>

El coste por hora de trabajo se calcula con las horas efectivas anuales que se acaban de calcular. Para el coste horario del ingeniero está la tabla V.2.2.2 y la V2.2.3 para el del tutor.

Tabla V.2.2. 2 Coste horario ingeniero encargado de la realización del proyecto.

CONCEPTO	IMPORTE
Sueldo bruto + incentivos	28.000 €
Seguridad social (35%)	9.800 €
Coste total anual	37.800 €
<b>Coste por hora de trabajo</b>	<b>21,28 €/h</b>

Tabla V.2.2. 3 Coste horario tutor a cargo del proyecto.

CONCEPTO	IMPORTE
Sueldo bruto + incentivos	38.000 €
Seguridad social (35%)	13.300 €
Coste total anual	51.300 €
<b>Coste por hora de trabajo</b>	<b>28,88 €/h</b>

## Capítulo V Fundamentos del ciclo de vida y Estudio económico

En la tabla V.2.2.4 se representan los costes totales del personal.

*Tabla V.2.2. 4 Coste resultante de personal del proyecto.*

PERSONAL	HORAS	€/h	TOTAL
Ingeniero	660	21,28	14044,8 €
Tutor	200	28,28	5656 €
<b>Total coste personal</b>		<b>19700,8 €</b>	

### Costes de material

Constan de una parte teórica y otra experimental.

La parte teórica se fundamenta en los costes de amortización de equipos informáticos empleados en el desarrollo del proyecto. Se calcularán teniendo en cuenta la inversión inicial de los equipos y determinando la amortización lineal de dicha inversión aplicando los criterios de: Hacienda Pública en base a la legislación vigente, Real Decreto 897/2010, de 9 de julio, por el que se modifica el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades, aprobado por el Real Decreto 1777/2004, de 30 de julio, en materia de las obligaciones de documentación de las operaciones vinculadas utilizando la tabla de coeficientes de amortización.

Se deben seguir los siguientes pasos:

- Determinación del importe bruto del inmovilizado.
- Aplicación del porcentaje correspondiente al tipo de inmovilizado.
- Determinación de coste horario.
- Cálculo del coste de amortización de equipo y programas.
- Coste total mediante la suma de los individuales.

La vida útil de los equipos informáticos es de tres años, por lo que su tasa de amortización es del 33,33% anual y trabajan la misma cantidad de horas que las personas que los empleen. Después de tres años, los equipos suelen quedarse obsoletos, provocando un impedimento a la hora de usar las aplicaciones nuevas. En la tabla V.2.2.5 se encuentran los costes de amortización de los equipos usados en la elaboración del proyecto, que son:

- PC HP® AMD A12-9720P RADEON R7, 2,7 GHz, 12 GB de memoria RAM.
- Software informático: Sistema operativo Windows 10, paquetes de programas de Microsoft Office y los usados en la toma de datos de TESTO.

Tabla V.2.2. 5 Costes por amortización del material.

Material	Precio (€)	Amort. (€/año)	Horas año	Coste hora (€/h)	Horas uso	Coste (€)
Pc	505	166,65	335	1	610	303,452
Software	550	181,5	335	0,45	610	330,493
Sondas	6230,9	2056,21	335	1,15	92	564,692
<b>Total costes amort.</b>						<b>1198,64</b>

Para el estudio experimental se necesita el valor de los materiales de construcción, los cuales son mayormente nulos al poderse reutilizar un número elevado de veces, o despreciables al usar pequeñas cantidades de material del almacén. Con excepción del coste de la silicona que, al gastarse solamente un bote, será de 6,83 €.

Por otro lado, se añade el coste asociado de materiales que no se amortizan y que corresponde a los costes de oficina de folios, elaboración y presentación, bolis, etc. Estimados en un valor de 150 €.

### Costes directos totales

En la tabla V.2.2.6, se recogen los costes directos totales.

Tabla V.2.2. 6 Costes directos totales

CONCEPTO	IMPORTE
Coste de personal	19700,8 €
Coste de material	1205,47€
Coste de oficina	150 €
<b>Coste directo total</b>	<b>21056,27 €</b>

### V.2.3 Costes indirectos

Se recopilan los costes derivados de funciones y equipos no relacionados de manera directa con el proyecto tratado, aunque sí contribuyen a su realización. Estos pueden ser costes de: climatización e iluminación del espacio donde se ha trabajado, energía eléctrica necesitada, limpieza y servicios administrativos. Todos ellos estimados y desglosados en la tabla V.2.3.1.

## Capítulo V Fundamentos del ciclo de vida y Estudio económico

Tabla V.2.3. 1 Desglose costes indirectos.

CONCEPTO	IMPORTE
Limpieza de oficina	450 €
Iluminación	75 €
Electricidad	55 €
Calefacción y climatización	550 €
Dirección y servicios administrativos	250 €
<b>Total Costes indirectos</b>	<b>1380 €</b>

### V.2.4 Coste total

Los costes indirectos y directos de los apartados anteriores se suman para dar los costes totales, se recogen en la tabla V.2.4.1.

Tabla V.2.4. 1 Desglose costes totales.

CONCEPTO	IMPORTE
Costes directos	21056,27 €
Costes indirectos	1380 €
<b>Total Costes</b>	<b>22436,27 €</b>



## Capítulo V Fundamentos del ciclo de vida y Estudio económico

### RELACIÓN DE TABLAS

Tabla V.2.2. 1 Cálculo de las horas efectivas empleadas en un año.

Tabla V.2.2. 2 Coste horario ingeniero encargado de la realización del proyecto.

Tabla V.2.2. 3 Coste horario tutor a cargo del proyecto.

Tabla V.2.2. 4 Coste resultante de personal del proyecto.

Tabla V.2.2. 5 Costes por amortización del material.

Tabla V.2.3. 1 Desglose costes indirectos.

Tabla V.2.4. 1 Desglose costes totales.

### RELACIÓN DE FIGURAS

Figura V.2.2. 1 Distribución de horas invertidas por función en cada puesto

Figura V.2.2. 2 Diagrama de Gantt del desarrollo del proyecto.



**CONCLUSIONES**

**Y**

**TRABAJOS**

**FUTUROS**



### Conclusiones y trabajos futuros

Los colectores solares térmicos de aire forman parte de las nuevas políticas energéticas, orientadas hacia el ahorro y la eficiencia, dentro de un contexto de energía renovable, limpio y sano. A pesar de tener un coste mayor en la instalación frente a los métodos convencionales, en relativamente poco tiempo se consigue un ahorro económico y energético.

Gracias a sus características, a su variabilidad de aplicaciones y usos, sin muchas necesidades constructivas y sin riesgo de fugas, sobrecalentamiento o congelación, son considerados una herramienta muy útil dentro del ámbito de la energía solar térmica de aire, a pesar de la desventaja respecto al agua como fluido de trabajo de una menor capacidad calorífica.

Siendo el prototipo de colectores construido un proyecto de carácter experimental y sin fin comercial, se han conseguido unos resultados bastante satisfactorios en cuanto a la funcionalidad y viabilidad.

Hay factores estudiados que resultan determinantes a primera vista en la eficiencia del colector, como pueden ser el efecto del viento en el ambiente del sistema o la irradiación disponible, otros como la temperatura ambiente son difíciles de determinar su relación.

El efecto del viento exterior produce, por un lado, pérdidas por convección en el colector, aunque, por el otro, supone un factor incontrolado de variabilidad en los resultados, ya que el caudal de aire medido es más elevado cuanto más viento en el ambiente hay. Las posibilidades estudiadas para este último caso son: que el aire exterior se introduzca por el orificio de salida en sentido contrario al flujo, produciendo esa elevación del valor medido o, que el aire en el ambiente produzca una fuerza de empuje en sentido positivo del flujo, provocando que el caudal de paso por el conducto sea mayor.

Sea como sea, la eficiencia se ve disminuida cuando los valores de la velocidad del viento son elevados. Se propone como posibles trabajos futuros: la búsqueda de un mejor diseño constructivo de los prototipos para evitar esta circunstancia y/o la implantación de un pequeño ventilador a la entrada del colector, aislando también los extremos del exterior, funcionando el sistema como convección forzada y conociendo así el caudal de aire pasante por el conducto.

Siguiendo con esta última propuesta de trabajo futuro de introducir un ventilador, se propone estudiar este sistema de convección forzada añadiendo piedras en el interior del conducto absorbedor, siendo este manto de piedras un material relativamente fácil de encontrar y sin coste aparente, promoviendo que el flujo de aire realice más recorrido dentro del colector y esperando así, obtener mejores resultados.

Con la radiación solar que llega a los colectores, se observa la dependencia del salto de temperaturas entre la salida y la entrada de cada conducto con este parámetro. El resultado es que ambos siguen una distribución semejante en el tiempo, cuando la irradiación sube en un espacio temporal determinado, el salto de temperaturas lo hace por igual, consiguiendo simultaneidad de resultados. La temperatura del ambiente no parece que afecte al salto de temperaturas, si bien este hecho no se puede afirmar con rotundidad, proponiendo como posible trabajo futuro, realizar un análisis de varianza o sensibilidad con los parámetros estudiados para comprobar su verdadera correlación.

Se ha calculado la capacidad calorífica disponible teóricamente, esta sigue una distribución similar a la irradiación y confirma la viabilidad y buen funcionamiento del prototipo. Como estudio futuro se propone calcular el área aproximada de irradiancia incidente para el colector, teniendo en cuenta la que pueda ser reflejada por el papel de aluminio, y con ella, calcular la potencia calorífica disponible, haciendo una comparativa entre esta última y la capacidad calculada con anterioridad.

Ya que la disponibilidad del material de construcción no es un problema, al ser elementos reutilizados y de gran presencia en el día a día, se propone variar en la unión del conducto absorbedor, sustituyendo la silicona por una unión embebida de latas, usando una lata adicional, recortada por ambos extremos en su cuerpo, en cada unión actual.

Otro estudio que se propone es el dimensionamiento teórico de una estancia o habitáculo, sometiéndolo a un flujo entrante de aire caliente, siendo este, el producido por el sistema de colectores. Comparándolo posteriormente con la exposición de la habitación frente a un colector térmico solar de aire del mercado actual, se podría estudiar la viabilidad en cuanto a su implantación directa.

# BIBLIOGRAFÍA



### Contenido Bibliografía

<i>Referencias de documentos</i> .....	153
<i>Referencias de páginas web</i> .....	156
<i>Referencias normativa</i> .....	¡Error! Marcador no definido.



## Referencias de documentos

- [1] International Energy Agency, «Key World Energy Statistics 2017», 2017.
- [2] British Petroleum, «BP Statistical Review of World Energy 2017», 2017.
- [3] World Energy Council, «World Energy Trilemma», 2016.
- [4] International Energy Agency, «World Energy Outlook», 2017.
- [5] UNDESA, World Urbanization Prospects. 2014.
- [6] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía-IDAE, «Análisis del consumo energético del sector residencial en España», Proyecto sech-spahousec. 2016.
- [7] F. R. Rey Martínez y E. Velasco Gómez, Avances en Ingeniería de Climatización y Refrigeración. Valladolid, 2015.
- [8] Á. L. Miranda, Técnicas de Climatización. Marcombo S.A., 2007.
- [9] D. Bosseboeuf, «Energy Efficiency Buildings in the EU Trends», Enerdata, n.o September 2012.
- [10] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, y C. Pout, «A review on buildings energy consumption information», Energy Build., vol. 40, n.o 3, pp. 394-398, 2008.
- [11] Max Jamieson, O. Brajterman, Y. Verstraeten, y J. Arbon, EPBD Compliance Study - Final Report, n.o December. 2015.
- [12] J. A. Pérez Rodríguez y A. Ivancic, Casos prácticos de eficiencia energética en España. 2011.
- [13] F. J. Rey Martínez y E. Velasco Gómez, Eficiencia Energética en Edificios. Thomson, 2006.
- [14] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía-IDAE, «Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012». 2007.
- [15] F. J. Rey Martínez y E. Velasco Gómez, Calidad de ambientes interiores. Thomson, 2007.
- [16] M. Liddament, «AIVC Guide to Energy Efficient Ventilation», 1996.
- [17] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía-IDAE, «Guía práctica de la energía- Consumo eficiente y responsable». 2011.
- [18] A. P. Haghighi y M. Maerefat, «Solar ventilation and heating of buildings in sunny winter days using solar chimney», Sustain. Cities Soc., vol. 10, pp. 72-79, 2014.
- [19] J. Inzunza, «Radiación solar y terrestre», Ciencias Integr., p. 15, 2008.

- [20] M. S. Sodha, N. K. Bansal, y D. Singh, «Analysis of a Non-porous double flow solar air heater», *Appl. Energy*, vol. 12, pp. 251-258, 1982.
- [21] Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, «La Radiación Solar», 2006.
- [22] J. Sancho, J. Riesco, y C. Jiménez, «Atlas de Radiación Solar en España», 2012.
- [23] A. Bohorquez, «La Energía Solar Térmica», *Bid*, p. 10, 2013.
- [24] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía-IDAE, «Energía solar térmica». Madrid, 2006.
- [25] M. I. Abreu, H. Corvacho, y R. P. Dias, «Passive systems for buildings using buoyancy-driven airflows», *Recent Patents Eng.*, vol. 5, n.o 1, pp. 23-31, 2011.
- [26] S. Gonzalez, «Tesis Doctoral Colectores solares térmicos de aire». Universidad de Valladolid, 2017.
- [27] P. F. Maupoey, A. M. A. Grau, A. M. A. Sorolla, y J. M. B. Baviera, «Introducción al secado de alimentos por aire caliente». Universitat Politècnica de València, p. 211, 2001.
- [28] A. Fudholi, K. Sopian, B. Bakhtyar, M. Gabbasa, M. Y. Othman, y M. H. Ruslan, «Review of solar drying systems with air based solar collectors in Malaysia», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51. 2015.
- [29] B. F. Parker, «Derivation of efficiency and loss factors for solar air heaters», *Sol. Energy*, vol. 26, n.o 1, pp. 27-32, 1981.
- [30] S. Satcunanathan y S. Deonarine, «A two-pass solar air heater», *Sol. Energy*, vol. 15, n.o 1, pp. 41-49, 1973.
- [31] R. Chandra y M. S. Sodha, «Testing procedures for solar air heaters: A review», *Energy Convers. Manag.*, vol. 32, n.o 1, pp. 11-33, 1991.
- [32] M. a. Al-Nimr, «Transient behaviour of a matrix solar air heater», *Energy Convers. Manag.*, vol. 34, n.o 8, pp. 649-656, 1993.
- [33] Solar Wall, «Solar Duct. Modular rooftop air heating system», 2017.
- [34] RER Cogersa, «PEAD (Polietileno de Alta Densidad)». 2008.
- [35] P. M. E. Koffi, B. K. Koua, P. Gbaha, y S. Touré, «Thermal performance of a solar water heater with internal exchanger using thermosiphon system in Côte d'Ivoire», *Energy*, vol. 64, pp. 187-199, 2014.

- [36] A. A. Camargo Macías, «Diseño y construcción de un colector solar con botellas reciclables PET y análisis comparativo con otros colectores.» Universidad tecnológica de Pereira, Colombia, Pereira, p. 78, 2013.
- [37] P. Sarai et al., «Calentador solar de agua con material reciclado», n.o 2.
- [38] Concepcionistas Ponferrada, «Latas ¿están hechas de acero?», Bloque I. Materiales de la química. pp. 1-9, 1999.
- [39] Asociación ecológica para el reciclado de la hojalata-Eco acero, «La lata de bebidas de acero». 2005.
- [40] H. P. Garg, B. Bandyopadhyay, y V. K. Sharma, «Investigation of rock bed solar collector cum storage system», Energy Convers. Manag., vol. 21, n.o 4, pp. 275-282, 1981.
- [41] M. A. Wazed, Y. Nukman, y M. T. Islam, «Design and fabrication of a cost effective solar air heater for Bangladesh», Appl. Energy, vol. 87, n.o 10, pp. 3030-3036, 2010.
- [42] G. Alvarez, J. Arce, L. Lira, y M. R. Heras, «Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminum cans», Sol. Energy, vol. 77, n.o 1, pp. 107-113, 2004.
- [43] F. Ozgen, M. Esen, y H. Esen, «Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans», Renew. Energy, vol. 34, n.o 11, pp. 2391-2398, 2009.
- [44] Almemo, «C12\_Meteorology», en Meteorology, 2013.
- [45] E. Velasco y A. Tejero, «Apuntes Ingeniería Térmica». Universidad de Valladolid, 2017.

## Referencias páginas web

- [W-1] OECD, Organization for Economic Co-operation and Development. Último día de consulta 08/03/2017. <http://www.oecd.org/>
- [W-2] Edificio Lucía, Universidad de Valladolid. Último día de consulta 08/03/2018. <http://edificio-lucia.blogspot.com.es/>
- [W-3] Four Peaks Technologies Último día de consulta 08/03/2018 [http://www.climatewarmingcentral.com/solar\\_page.html](http://www.climatewarmingcentral.com/solar_page.html)
- [W-4] Environmental Solar Systems. Último día de consulta 08/03/2018. <http://sunmatesolarpanels.com/>
- [W-5] Solar Wall by Conserval Engineering Inc. Último día de consulta 08/03/2017. <http://solarwall.com/es/>
- [W-6] Sun Lizard. Último día de consulta 08/03/2018. <http://www.sunlizard.com.au>
- [W-7] Solar Venti. Último día de consulta 08/03/2018. <http://www.solarventi.es/>
- [W-8] KW Solar. Último día de consulta 08/03/2018. <http://www.kw-solar.es/>
- [W-9] Your Solar Home. Último día de consulta 08/03/2017. <http://www.yoursolarhome.com/>
- [W-10] Grammer Solar. Twin Solar. Último día consulta 08/03/2018. <http://www.grammer-solar.com/es/>
- [W-11] Cansolair. Último día de consulta 08/03/2018. <http://www.cansolair.com/>
- [W-12] Corporate Accountability. Último día de consulta 08/03/2018. <https://www.corporateaccountability.org>
- [W-13] Asociación para el reciclado de productos de aluminio. Último día de consulta 08/03/2018. <http://aluminio.org/>
- [W-14] CEYS. Último día de consulta 30/01/2018. <http://www.mundoceys.com/producto/95/silicona-para-alta-temperatura>
- [W-15] Google Maps. Último día de consulta 30/01/2018. <https://www.google.es/maps/>
- [W-16] Testo SE & Co. KGaA. Último día de consulta 30/01/2018. <https://www.testo.com/es-ES/sonda-molinete-diametro-60-mm-con-empunadura-telescopica-m/p/0635-9335>
- [W-17] Testo SE & Co. KGaA. Último día de consulta 30/01/2018. <https://www.testo.com/es-ES/sonda-termica-de-velocidad-con-medicion-integrada-de-tempera/p/0635-1535>
- [W-18] Testo SE & Co. KGaA. Último día de consulta 30/01/2018. <https://www.testo.com/es-ES/sonda-de-humedad/temperatura/p/0636-9735>

- [W-19] Testo SE & Co. KGaA. Último día de consulta 30/01/2018.  
<https://www.testo.com/es-ES/sonda-de-inmersion-rapida-precisa-flexible-y-estanca-t/p/p/0602-0593>
- [W-20] Testo SE & Co. KGaA. Último día de consulta 30/01/2018.  
<https://www.testo.com/es-ES/sonda-de-inmersion/penetracion-estanca-t/p-tipo-k/p/0602-1293>
- [W-21] Testo SE & Co. KGaA. Último día de consulta 30/01/2018.  
<https://www.testo.com/es-ES/data-logger-testo-175-h1/p/0572-1754>
- [W-22] Testo SE & Co. KGaA. Último día de consulta 30/01/2018.  
<https://www.testo.com/es-ES/data-logger-testo-175-t2/p/0572-1752>
- [W-23] Testo SE & Co. KGaA. Último día de consulta 30/01/2018.  
<https://www.testo.com/es-ES/sonda-integrada-con-funda-de-aluminio/p/0628-7503>
- [W-24] Testo SE & Co. KGaA. Último día de consulta 30/01/2018.  
<https://www.testo.com/es-ES/instrumento-multifuncion-testo-435-4/p/0563-4354>
- [W-25] Testo SE & Co. KGaA. Último día de consulta 30/01/2018.  
<https://www.testo.com/es-ES/medidor-multifuncion-testo-435-2/p/0563-4352>
- [W-26] Eco inteligencia. Último día de consulta 03/03/2018.  
<http://www.ecointeligencia.com/2013/02/analisis-ciclo-vida-acv/>
- [W-27] Unión Cooperativa de Consumidores y Usuarios de Madrid. Último día de consulta 03/03/2017.  
[http://www.uncuma.coop/guiacompraresponsable/seccion2\\_1.html](http://www.uncuma.coop/guiacompraresponsable/seccion2_1.html)

## Referencias normativas

- [N-1] AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación, *UNE-EN ISO 7730*. España, 2006.
- [N-2] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y Ministerio de Vivienda de España, “Real Decreto 1027/2007: Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios”. España, 2007.
- [N-3] AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación, *UNE-EN ISO 9806*. España, 2014.
- [N-4] Ayuntamiento de Valladolid, Reglamento municipal sobre la incorporación de sistemas de captación y aprovechamiento de energía solar térmica en los edificios. Aprobación pleno ayuntamiento: 21-12-2004. España, 2005.
- [N-5] AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación, *UNE-EN ISO 14040*. España, 2006.

# ANEXOS



## Contenido Anexos

<b>Anexos Banco de ensayos.....</b>	<b>163</b>
<b>Ensayo base.....</b>	<b>163</b>
17 de julio de 2017 (verano).....	163
<b>Primera etapa de ensayos.....</b>	<b>164</b>
1 de septiembre de 2017 (verano) .....	164
4 de septiembre de 2017 (verano) .....	165
5 de septiembre de 2017 (verano) .....	166
26 de septiembre de 2017 (otoño).....	167
3 de octubre de 2017 (otoño) .....	168
22 de noviembre de 2017 (otoño) .....	169
<b>Segunda etapa de ensayos .....</b>	<b>170</b>
12 de diciembre de 2017 (otoño) .....	170
18 de diciembre de 2017 (otoño) .....	171
19 de diciembre de 2017 (otoño) .....	172
20 de diciembre de 2017 (otoño) .....	173
21 de diciembre de 2017 (invierno) .....	174



## A.1 Banco de ensayos

### A.1.1 Ensayo base

17 de julio de 2017 (verano)

Se midieron datos de temperatura y velocidad a la entrada y salida del colector y en el ambiente, desde las 13:11 h:min hasta las 13:36 h:min en intervalos de 6–8 minutos. Los elementos de medida se establecen en la tabla A.1.1.1.

*Tabla A.1.1. 1 Banco de dispositivos 05/072017.*

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
ENTRADA CG	Sonda de hilo caliente	T <sup>a</sup> HR V
SALIDA CG	Sonda de hilo caliente	T <sup>a</sup> HR V
AMBIENTE	Sonda de hilo caliente	T <sup>a</sup> HR V

### A.1.2 Primera etapa de ensayos

1 de septiembre de 2017 (verano)

La distribución esquemática en la cubierta es la mostrada en la figura A.1.2.1.

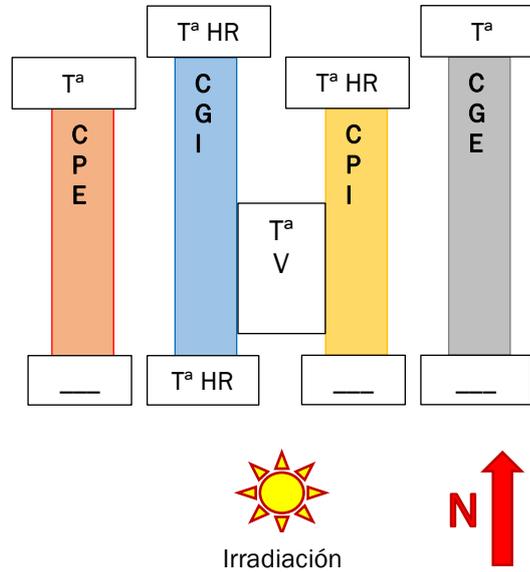


Figura A.1.2. 1 Distribución sistema 01/09/2017.

El uso de los dispositivos de medida se refleja en la tabla A.1.2.1.

Tabla A.1.2. 1 Banco de dispositivos 01/09/2017.

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
SALIDA CPE	Sonda de penetración estanca	$T^a$
ENTRADA CGI	Registrador de humedad y temperatura	$T^a$ HR
SALIDA CGI	Sonda de hilo caliente	$T^a$ HR V
SALIDA CPI	Sonda de temperatura y humedad	$T^a$ HR
SALIDA CGE	Sonda de inmersión flexible	$T^a$
AMBIENTE	Sonda de molinete	V
	Sonda de penetración estanca	$T^a$
IRRADIACIÓN	Piranómetro	I

Este día se realizaron ensayos desde las 12:35 h:min hasta las 13:35 h:min, los datos se toman cada 15 segundos para algunos dispositivos y cada 1 minuto para el piranómetro, este error de programación complicará el análisis de resultados posterior. Al no disponer de ciertos datos se necesitará hacer estimaciones en el análisis futuro.

## 4 de septiembre de 2017 (verano)

La distribución esquemática en la cubierta es la mostrada en la figura A.1.2.2.

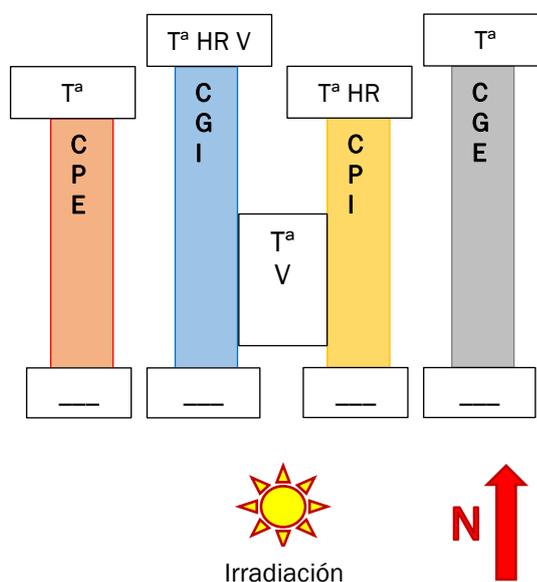


Figura A.1.2. 2 Distribución sistema 04/09/2017.

El uso de los dispositivos de medida se refleja en la tabla A.1.2.2.

Tabla A.1.2. 2 Banco de dispositivos 04/09/2017.

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
SALIDA CPE	Sonda de penetración estanca	Tª
SALIDA CGI	Sonda de hilo caliente	Tª HR V
SALIDA CPI	Sonda de temperatura y humedad	Tª HR
SALIDA CGE	Sonda de inmersión flexible	Tª
AMBIENTE	Sonda de molinete	V
	Sonda de penetración estanca	Tª
IRRADIACIÓN	Piranómetro	I

Este día se realizaron ensayos desde las 11:38 h:min hasta las 14:10 h:min, los datos se toman cada 15 segundos para algunos dispositivos y cada 1 minuto para el piranómetro, este error de programación complicará el análisis de resultados posterior. Al no disponer de ciertos datos se necesitará hacer estimaciones en el análisis futuro, no hay ningún dato de variables de entrada de ningún captador.

5 de septiembre de 2017 (verano)

La distribución esquemática en la cubierta es la mostrada en la figura A.1.2.3.

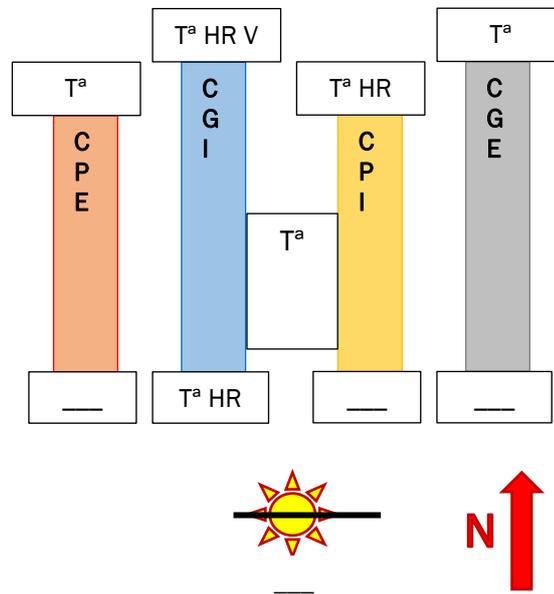


Figura A.1.2. 3 Distribución sistema 05/09/2017.

El uso de los dispositivos de medida se refleja en la tabla A.1.2.3.

Tabla A.1.2. 3 Banco de dispositivos 05/09/2017.

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
SALIDA CPE	Sonda de penetración estanca	$T^a$
ENTRADA CGI	Registrador de humedad y temperatura	$T^a$ HR
SALIDA CGI	Sonda de hilo caliente	$T^a$ HR V
SALIDA CPI	Sonda de temperatura y humedad	$T^a$ HR
SALIDA CGE	Sonda de inmersión flexible	$T^a$
AMBIENTE	Sonda de penetración estanca	$T^a$

Este día se realizaron ensayos desde las 10:21 h:min hasta las 13:40 h:min, los datos se toman cada 15 segundos para todos los dispositivos. Al no disponer de ciertos datos claves para hacer un análisis en condiciones como son la Irradiación y la velocidad ambiente, se ha considerado como mayoritariamente desechable la información obtenida de este ensayo.

26 de septiembre de 2017 (otoño)

La distribución esquemática en la cubierta es la mostrada en la figura A.1.2.4.

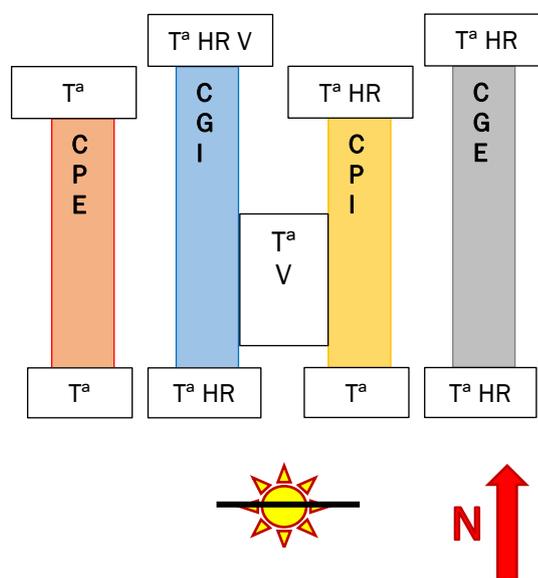


Figura A.1.2. 4 Distribución sistema 26/09/2017.

El uso de los dispositivos de medida se refleja en la tabla A.1.2.4.

Tabla A.1.2. 4 Banco de dispositivos 26/09/2017.

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
ENTRADA CPE	Registrador de temperatura doble canal	Tª
SALIDA CPE	Sonda de penetración estanca	Tª
ENTRADA CGI	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CGI	Sonda de hilo caliente	Tª HR V
ENTRADA CPI	Registrador de temperatura doble canal	Tª
SALIDA CPI	Sonda de temperatura y humedad	Tª HR
ENTRADA CGE	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CGE	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
AMBIENTE	Sonda de molinete	V
	Sonda de penetración estanca	Tª

Este día se realizaron ensayos desde las 10:56 h:min hasta las 17:54 h:min, los datos se toman cada 15 segundos para todos los dispositivos. Si bien no se disponen de datos muy importantes como los de irradiación, los demás son muy completos y se podrá realizar un análisis posterior.

3 de octubre de 2017 (otoño)

La distribución esquemática en la cubierta es la mostrada en la figura A.1.2.5.

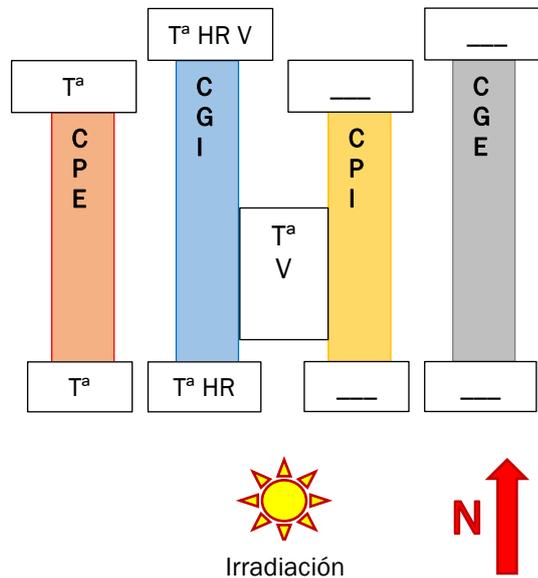


Figura A.1.2. 5 Distribución sistema 03/10/2017.

El uso de los dispositivos de medida se refleja en la tabla A.1.2.5.

Tabla A.1.2. 5 Banco de dispositivos 03/10/2017.

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
ENTRADA CPE	Registrador de temperatura doble canal	$T^a$
SALIDA CPE	Sonda de penetración estanca	$T^a$
ENTRADA CGI	Registrador de humedad y temperatura	$T^a$ HR
SALIDA CGI	Sonda de hilo caliente	$T^a$ HR V
AMBIENTE	Sonda de molinete	V
	Sonda de penetración estanca	$T^a$
IRRADIACIÓN	Piranómetro	I

Este día se realizaron ensayos desde las 10:36 h:min hasta las 18:03 h:min, los datos se toman cada 15 segundos para todos los dispositivos. Para los colectores CGE y CPI no hay datos, esto es porque o bien la sonda no ha transmitido bien la información o bien que directamente no la haya transmitido ya que en los datos registrados pone "Error".

22 de noviembre de 2017 (otoño)

La distribución esquemática en la cubierta es la mostrada en la figura A.1.2.6.

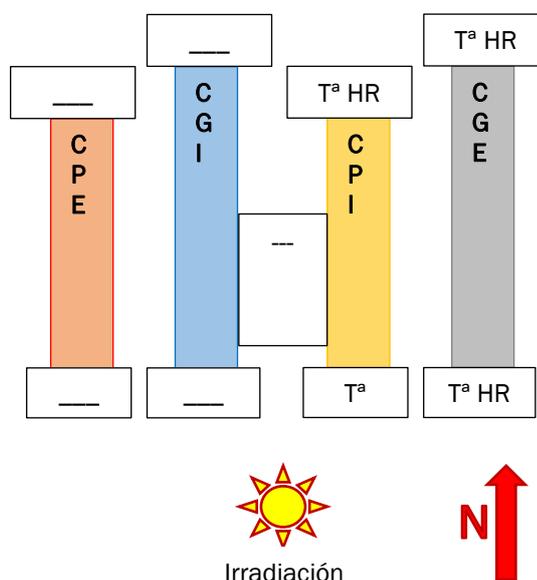


Figura A.1.2. 6 Distribución sistema 22/11/2017.

El uso de los dispositivos de medida se refleja en la tabla A.1.2.6.

Tabla A.1.2. 6 Banco de dispositivos 22/11/2017.

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
ENTRADA CPI	Registrador de temperatura doble canal	Tª
SALIDA CPI	Sonda de temperatura y humedad	Tª HR
ENTRADA CGE	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CGE	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
IRRADIACIÓN	Piranómetro	I

Este día se realizaron ensayos desde las 09:50 h:min hasta las 14:20 h:min, los datos se toman cada 15 segundos para todos los dispositivos. Para los colectores CGI y CPE, ni para el ambiente hay datos, esto es porque los medidores multifuncionales encargados de recoger los datos del se quedaron sin batería. Aun así, los datos disponibles se emplearán en un futuro análisis.

### A.1.3 Segunda etapa de ensayos

12 de diciembre de 2017 (otoño)

La distribución esquemática en la cubierta es la mostrada en la figura A.1.3.1.

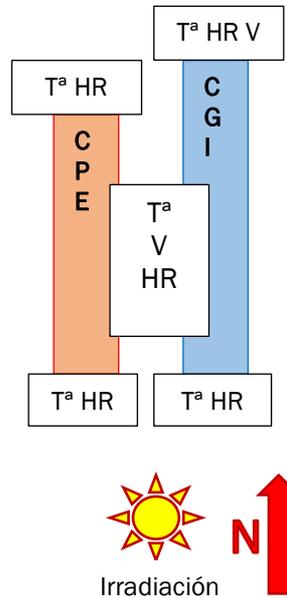


Figura A.1.3. 1 Distribución sistema 12/12/2017.

El uso de los dispositivos de medida se refleja en la tabla A.1.3.1.

Tabla A.1.3. 1 Banco de dispositivos 12/12/2017.

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
ENTRADA CPE	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CPE	Sonda de temperatura y humedad	Tª HR
ENTRADA CGI	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CGI	Sonda de hilo caliente	Tª HR V
AMBIENTE	Sonda de molinete	V
	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
IRRADIACIÓN	Piranómetro	I

Este día se realizaron ensayos desde las 10:46 h:min hasta las 15:06 h:min, los datos se toman cada 15 segundos para todos los dispositivos. Se han retirado los colectores CGE y CPI para disponer de toda la cantidad de variables posibles a medir en al menos una pareja de colectores.

18 de diciembre de 2017 (otoño)

La distribución esquemática en la cubierta es la mostrada en la figura A.1.3.2.

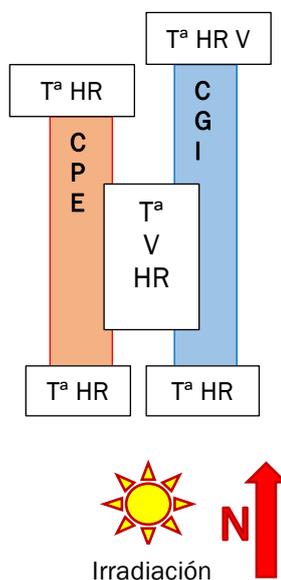


Figura A.1.3. 2 Distribución sistema 18/12/2017.

El uso de los dispositivos de medida se refleja en la tabla A.1.3.2.

Tabla A.1.3. 2 Banco de dispositivos 18/12/2017.

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
ENTRADA CPE	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CPE	Sonda de temperatura y humedad	Tª HR
ENTRADA CGI	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CGI	Sonda de hilo caliente	Tª HR V
AMBIENTE	Sonda de molinete	V
	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
IRRADIACIÓN	Piranómetro	I

Este día se realizaron ensayos desde las 08:43 h:min hasta las 15:17 h:min, los datos se toman cada 15 segundos para todos los dispositivos. Se han retirado los colectores CGE y CPI para disponer de toda la cantidad de variables posibles a medir en al menos una pareja de colectores.

19 de diciembre de 2017 (otoño)

La distribución esquemática en la cubierta es la mostrada en la figura A.1.3.3.

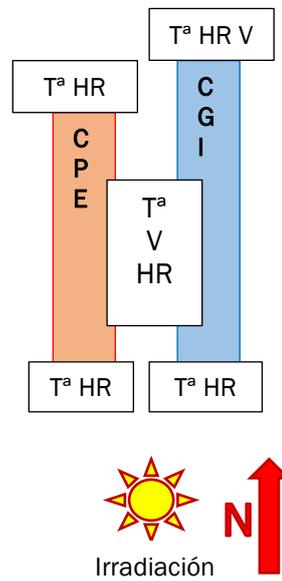


Figura A.1.3. 3 Distribución sistema 19/12/2017.

El uso de los dispositivos de medida se refleja en la tabla A.1.2.3.

Tabla A.1.3. 3 Banco de dispositivos 19/12/2017.

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
ENTRADA CPE	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CPE	Sonda de temperatura y humedad	Tª HR
ENTRADA CGI	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CGI	Sonda de hilo caliente	Tª HR V
AMBIENTE	Sonda de molinete	V
	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
IRRADIACIÓN	Piranómetro	I

Este día se realizaron ensayos desde las 09:51 h:min hasta las 15:12 h:min, los datos se toman cada 15 segundos para todos los dispositivos. Se han retirado los colectores CGE y CPI de la estructura inicial para disponer de toda la cantidad de variables posibles a medir en al menos una pareja de colectores.

20 de diciembre de 2017 (otoño)

La distribución esquemática en la cubierta es la mostrada en la figura A.1.3.4.

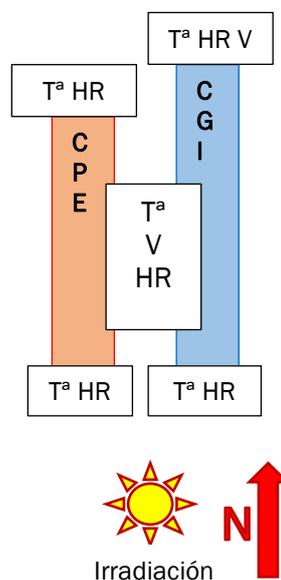


Figura A.1.3. 4 Distribución sistema 20/12/2017.

El uso de los dispositivos de medida se refleja en la tabla A.1.3.4.

Tabla A.1.3. 4 Banco de dispositivos 20/12/2017.

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
ENTRADA CPE	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CPE	Sonda de temperatura y humedad	Tª HR
ENTRADA CGI	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CGI	Sonda de hilo caliente	Tª HR V
AMBIENTE	Sonda de molinete	V
	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
IRRADIACIÓN	Piranómetro	I

Este día se realizaron ensayos desde las 09:41 h:min hasta las 15:04 h:min, los datos se toman cada 15 segundos para todos los dispositivos. Se han retirado los colectores CGE y CPI de la estructura inicial para disponer de toda la cantidad de variables posibles a medir en al menos una pareja de colectores.

21 de diciembre de 2017 (invierno)

La distribución esquemática en la cubierta es la mostrada en la figura A.1.3.5.

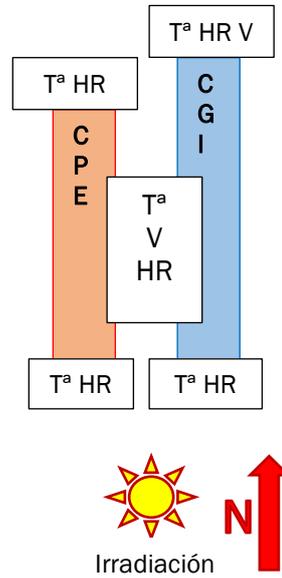


Figura A.1.3. 5 Distribución sistema 21/12/2017.

El uso de los dispositivos de medida se refleja en la tabla A.1.2.5.

Tabla A.1.3. 5 Banco de dispositivos 21/12/2017.

POSICIÓN	DISPOSITIVO	VARIABLES
ENTRADA CPE	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CPE	Sonda de temperatura y humedad	Tª HR
ENTRADA CGI	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
SALIDA CGI	Sonda de hilo caliente	Tª HR V
AMBIENTE	Sonda de molinete	V
	Registrador de humedad y temperatura	Tª HR
IRRADIACIÓN	Piranómetro	I

Este día se realizaron ensayos desde las 10:57 h:min hasta las 15:55 h:min, los datos se toman cada 15 segundos para todos los dispositivos. Se han retirado los colectores CGE y CPI de la estructura inicial para disponer de toda la cantidad de variables posibles a medir en al menos una pareja de colectores.



### RELACIÓN DE TABLAS

- Tabla A.1.1. 1 Banco de dispositivos 05/07/2017.
- Tabla A.1.2. 1 Banco de dispositivos 01/09/2017.
- Tabla A.1.2. 2 Banco de dispositivos 04/09/2017.
- Tabla A.1.2. 3 Banco de dispositivos 05/09/2017.
- Tabla A.1.2. 4 Banco de dispositivos 26/09/2017.
- Tabla A.1.2. 5 Banco de dispositivos 03/10/2017.
- Tabla A.1.2. 6 Banco de dispositivos 22/11/2017.
- Tabla A.1.3. 1 Banco de dispositivos 12/12/2017.
- Tabla A.1.3. 2 Banco de dispositivos 18/12/2017.
- Tabla A.1.3. 3 Banco de dispositivos 19/12/2017.
- Tabla A.1.3. 4 Banco de dispositivos 20/12/2017.
- Tabla A.1.3. 5 Banco de dispositivos 21/12/2017.

### RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura A.1.2. 1 Distribución sistema 01/09/2017.
- Figura A.1.2. 2 Distribución sistema 04/09/2017.
- Figura A.1.2. 3 Distribución sistema 05/09/2017.
- Figura A.1.2. 4 Distribución sistema 26/09/2017.
- Figura A.1.2. 5 Distribución sistema 03/10/2017.
- Figura A.1.2. 6 Distribución sistema 22/11/2017.
- Figura A.1.3. 1 Distribución sistema 12/12/2017.
- Figura A.1.3. 2 Distribución sistema 18/12/2017.
- Figura A.1.3. 3 Distribución sistema 19/12/2017.
- Figura A.1.3. 4 Distribución sistema 20/12/2017.
- Figura A.1.3. 5 Distribución sistema 21/12/2017.