



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

Diseño de sistema de climatización para piscina exterior mediante paneles solares térmicos

*Design of heating system for outdoor pool using thermal solar panels*

Autor

Juan Cigudosa Antoñanzas

Director

Javier Blasco Alberto



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad** Zaragoza

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales  
Área de Mecánica de Fluidos

2019



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe entregarse en la Secretaría de la EINA, dentro del plazo de depósito del TFG/TFM para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D<sup>a</sup>. JUAN CIGUDOSA ANTOÑANZAS ,en

aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)

GRADO

(Título del Trabajo)

DISEÑO DE SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN PARA PISCINA EXTERIOR MEDIANTE  
PANELES SOLARES TÉRMICOS

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 9 de septiembre de 2019

Fdo: JUAN CIGUDOSA ANTOÑANZAS

# Diseño de sistema de climatización para piscina exterior mediante paneles solares térmicos

## RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto es el de ser una solución viable, tanto técnica como económicamente, a un problema de temperatura de agua de baño en la piscina de una urbanización de vecinos.

Esta piscina se encuentra en un patio al aire libre pero está rodeada casi completamente por edificios de pisos, lo que provoca que no reciba la cantidad de energía solar directa suficiente para mantener una temperatura de baño agradable.

La solución que se plantea en este trabajo consiste en instalar un sistema colectores solares térmicos, integrado en el sistema de tuberías del filtrado de la piscina, para mayor sencillez y ahorro en el presupuesto.

La estructura principal del proyecto comienza con un estudio de dos alternativas muy diferentes para realizar la instalación, seguidamente se procede al cálculo de la energía solar real disponible en los captadores y las pérdidas de calor en la piscina, para finalmente hallar la superficie mínima de paneles solares necesaria. También se lleva a cabo un dimensionado del sistema de tuberías, bombas adicionales necesarias y sistema de control de los captadores.

Como complemento a este trabajo se ha realizado un experimento de medida de temperaturas de agua y ambiente en una masa de agua a la intemperie y en sombra durante un día entero, mediante un montaje de sensores de temperatura con el Microcontrolador *Arduino*, con el objetivo de sacar conclusiones sobre la variación de la diferencia entre ambos valores.

La instalación completa, incluyendo tanto los colectores solares como el sistema de filtrado y tuberías en su totalidad, han sido modelizados en 2 y 3 dimensiones mediante el programa *SolidWorks*.

Finalmente, se lleva a cabo un presupuesto aproximado del proyecto, sin incluir gastos de mano de obra, y se realizan las conclusiones generales de todo el proyecto.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción .....	6
2. Datos de partida .....	8
2.1 Información constructiva de la piscina.....	8
2.2 Sistema de filtrado, bombas y tuberías.....	8
3. Distribuciones posibles analizadas .....	10
3.1 Instalación térmica sin acumulador con agua.....	10
3.2 Instalación térmica con acumulador con fluido caloportador orgánico .....	11
4. Cálculo de la intensidad incidente real.....	13
4.1 Energía media incidente .....	13
4.2 Intensidad incidente .....	15
4.3 Rendimiento mensual de los colectores .....	15
4.4 Energía mensual neta disponible .....	16
5. Pérdidas de calor en la piscina .....	16
5.1 Pérdidas por evaporación.....	16
5.2 Pérdidas por convección.....	18
5.3 Pérdidas por radiación.....	19
5.4 Pérdidas por renovación de agua .....	19
5.5 Pérdidas por conducción .....	20
5.6 Demanda total de calor .....	20
6. Medida de temperaturas de agua y ambiente en un día de Julio con <i>Arduino</i> .....	21
7. Componentes de la instalación .....	24
7.1 Colectores solares.....	24
7.2 Sistema de impulsión (bombas) .....	25
7.3 Sistema de control .....	26
7.4 Tuberías y componentes hidráulicos.....	27
8. Cálculo de superficie de captadores requerida .....	28
9. Presupuesto.....	28
10. Conclusiones.....	29
11. Trabajo futuro.....	30
12. Bibliografía.....	31
ANEXO I. Tabla Excel para el cálculo de la superficie de colectores necesaria.....	33
ANEXO II. Programa <i>Arduino</i> .....	35
ANEXO III. Montaje de sensores de temperatura con <i>Arduino</i> .....	36

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Ejemplo de instalación de captadores solares en una piscina exterior particular. ....</i>	<i>6</i>
<i>Ilustración 2. Dimensiones en planta y perfil de la piscina.....</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 3. Sistema de filtrado de la piscina / “Skimmer” e inyector .....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 4. Instalación con agua sin acumulación.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 5. Instalación con acumulación y fluido orgánico .....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 6. Horas diarias útiles de luz solar .....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 7. Esquema de montaje de sensores de temperatura con Arduino.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 8. Modelos de captadores solares para piscinas Solapool .....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 9. Esquema completo de la instalación. ....</i>	<i>26</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Factor de corrección k.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 2. Resultados de energía incidente en los meses de estudio.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 3. Potencia de irradiación .....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 4. Métodos de cálculo del coeficiente de evaporación.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 5. Resultados de las pérdidas por evaporación .....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 6. Métodos de cálculo del coeficiente de convección .....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 7. Resultados de las pérdidas por convección .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 8. Resultados de las pérdidas por radiación .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 9. Resultados de pérdidas por renovación de agua.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 10. Resultados totales de pérdidas de calor .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 11. Lecturas de temperatura de Arduino a lo largo de un día regular de Julio. ....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 12. Ventajas de los Solapool respecto a otros captadores .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 14. Energía útil captada.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 15. Presupuesto de los componentes del proyecto .....</i>	<i>28</i>

# 1. Introducción

El edificio Trento, localizado en el distrito Universidad de Zaragoza, engloba a una serie de bloques de viviendas que comparten espacios comunes, entre ellos una piscina exterior. Dicha piscina está situada en un patio común rodeado casi totalmente por edificios, lo que provoca que la mayor parte del día se encuentre en sombra y reciba una radiación solar directa mínima. Esto tiene como principal consecuencia una baja temperatura de la piscina en los meses de verano, la cual no es agradable para el baño.

La motivación principal de este proyecto es la de dar una solución térmicamente viable a este problema tratando de mantener el coste económico bajo en unos rangos asequibles para la comunidad de inquilinos.

La solución que se ha estudiado para este problema es la de realizar una instalación de paneles solares térmicos integrada en el sistema de filtrado de la piscina, con el objetivo de elevar la temperatura del agua hasta un valor de baño agradable, durante la temporada de apertura de la piscina (Junio-Julio-Agosto-Septiembre).



*Ilustración 1. Ejemplo de instalación de captadores solares en una piscina exterior particular.*

Se llevará a cabo el dimensionado y análisis de los siguientes componentes de la instalación:

- **Captadores solares:** con el fin de conocer la superficie de colectores necesaria para cumplir los requerimientos necesarios de la piscina, se realizarán 3 pasos: primero, se procederá a calcular la intensidad incidente que aportará el sol en cada uno de los meses de estudio. Seguidamente, se hallarán las necesidades caloríficas para calentar la piscina hasta una temperatura agradable de baño, como la diferencia entre las ganancias y pérdidas de calor en la misma. Finalmente se dividirán estos valores sumados para toda la temporada para, de esta manera, hallar la superficie de colectores mínima necesaria.

$$\text{Superficie de colectores necesaria}(m^2) = \frac{\text{Necesidades piscina temporada}(W)}{\text{Energía disponible temporada}(W/m^2)}$$

- **Sistema de impulsión:** partiendo de que el sistema de filtrado ya posee una bomba y calculando el caudal requerido por los colectores, se dimensionarán las bombas adicionales necesarias.
- **Tuberías:** a partir de los caudales de las bombas, se calcularán los diámetros de tubería para los conductos de la instalación de colectores.
- **Sistema de control:** se explicará la opción escogida para realizar la regulación de temperatura de la piscina mediante termostato diferencial.

Los captadores solares, sistema de filtrado, bombas y el sistema de conducción de agua, junto a la piscina del estudio, han sido modelizados en 2 y 3 dimensiones mediante el programa *SolidWorks* de *Dassault Systèmes*.

Como complemento a la resolución del problema de temperatura de la piscina y, con el fin de sacar conclusiones sobre cómo varían las temperaturas del agua de la piscina y del ambiente una respecto a la otra, a lo largo de un día de verano, se llevó a cabo un experimento con un montaje electrónico de sensores de temperatura con *Arduino*.

El proyecto estará estructurado de la siguiente forma:

1. Descripción del caso de estudio, información de la piscina y distintos componentes del sistema de filtrado.
2. Análisis de distribuciones de los colectores, fluidos caloportadores y presencia o no de acumulación de agua caliente.
3. Cálculo de la energía útil aprovechable por los captadores solares y de las distintas pérdidas de calor en la piscina.
4. Análisis de los resultados de temperaturas medidos con *Arduino*.
5. Dimensionado de todos los componentes de la instalación.
6. Análisis económico.

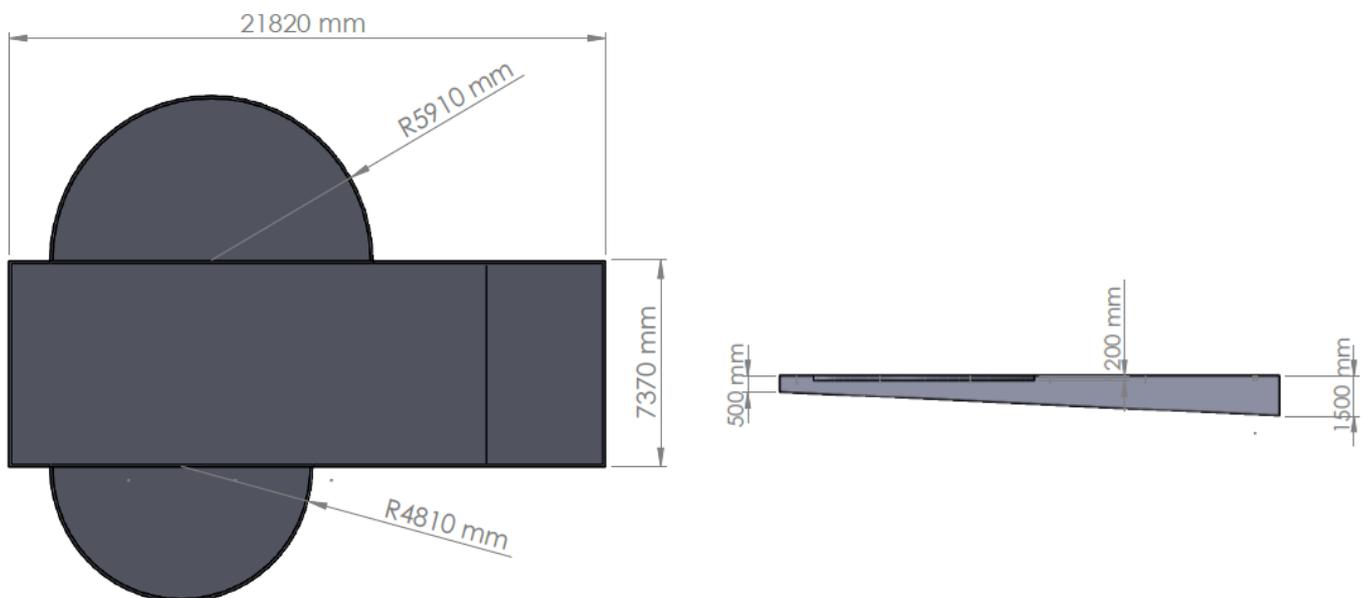
## 2. Datos de partida

Es este apartado se incluye la información inicial de la que se dispondrá para abordar los cálculos de componentes pertinentes en nuestro caso de estudio.

### 2.1 Información constructiva de la piscina

La piscina de nuestro proyecto consta de las dimensiones en planta que se muestran en la figura 2.

Su volumen y superficie de lámina de agua, ambos consultados in situ en los documentos de obra de la piscina, son respectivamente de **230,09 m<sup>3</sup>** y **306,18 m<sup>2</sup>**.



*Ilustración 2. Dimensiones en planta y perfil de la piscina*

### 2.2 Sistema de filtrado, bombas y tuberías

El sistema de filtrado extrae el agua de la piscina a través de una serie de dispositivos denominados “skimmers” (dispositivos que constan de un filtro y recogen el agua de la superficie, ver figura 3) a lo largo del borde superior de la piscina (según la ilustración 3) y del desagüe principal situado en la parte más profunda de la misma. El agua circula a través de tuberías de PVC de 50 mm de diámetro que confluyen en una única tubería principal que llega hasta la bomba la cual la impulsa hasta el filtro de arenas para su limpieza. Tras ser filtrada, es impulsada hasta los inyectores de agua, los cuales se distribuyen a lo largo de la parte inferior de la piscina (según la ilustración 3).

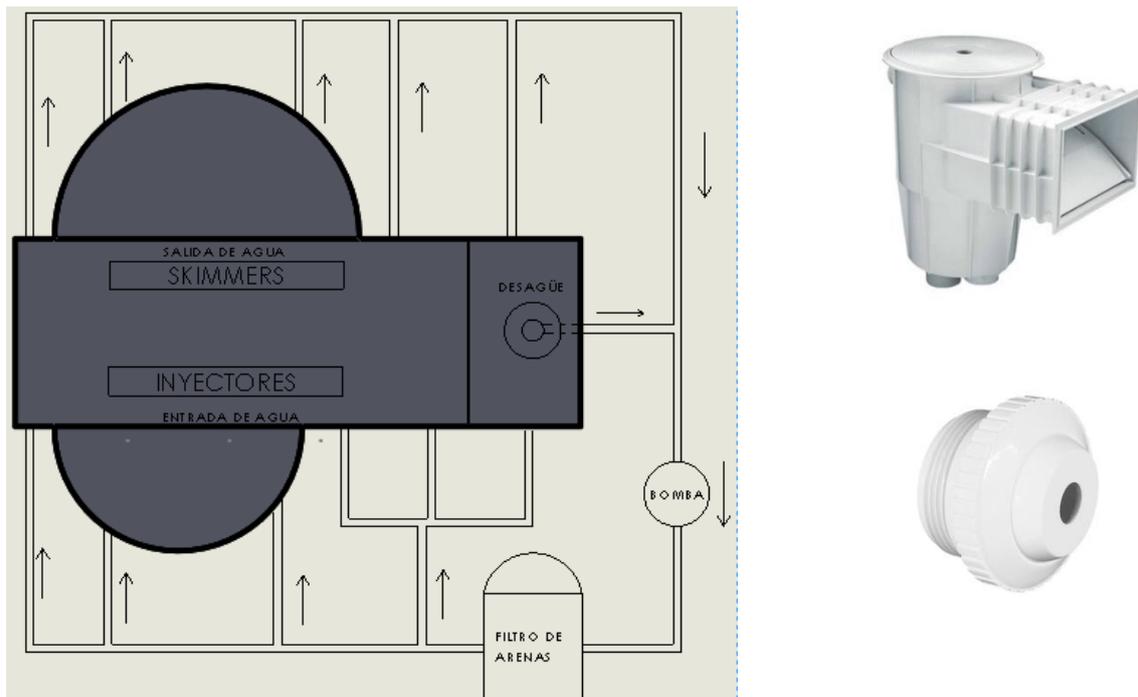


Ilustración 3. Sistema de filtrado de la piscina / "Skimmer" e inyector

La bomba es eléctrica de tipo centrífugo, de la marca *VernisMotors, SL*; dispone de una potencia útil de 2,2 kW y su punto de operación son 35 m<sup>3</sup>/hora y 18 metros de altura de agua.

Esta bomba sirve únicamente para el sistema de filtrado y no será suficiente para poder realizar el trabajo de impulsión del agua a través del sistema de colectores solares, por lo que se necesitará otra bomba para que sea posible la impulsión del agua por todo el circuito hidráulico, se calculará en el apartado 7.

Previa al filtro de arenas se encuentra una válvula selectora, que desecha parte del caudal de agua al alcantarillado público.

Todas las confluencias triples de conductos están formadas por válvulas de tipo T y hay válvulas para apertura/cierre en las tuberías provenientes de cada "skimmer" y del depósito además de en la entrada a la bomba.

### 3. Distribuciones posibles analizadas

En este apartado se presentarán dos alternativas para la implementación de la instalación de colectores solares, la primera sin acumulador de agua y usando como fluido caloportador directamente el agua de la piscina y la segunda con acumulador y fluido orgánico para transmitir en calor de los colectores al agua.

#### 3.1 Instalación térmica sin acumulador con agua

En esta alternativa (ver figura 4) el sistema de colectores solares estará implementado directamente en el de filtrado de la piscina, tal que el agua saliente del filtro de arenas será impulsada mediante otra bomba hasta los paneles, donde ésta se calentará hasta la temperatura necesaria para, tras mezclarse con otro flujo de agua procedente del filtro a menor temperatura, se tenga la temperatura deseada a la entrada de la piscina. La mezcla del agua saliente de los colectores y el flujo parcial proveniente del filtro se realiza para garantizar una renovación del agua de la piscina para el caso en que los colectores no estén en funcionamiento o se produzca algún problema en el circuito de tuberías.

Con el fin de poder controlar y regular la temperatura del agua de la piscina se instalarán unas sondas térmicas en la salida de la piscina, salida de captadores y entrada a la piscina, todas ellas conectadas a un termostato diferencial que detiene el funcionamiento de la bomba solar cuando se llega a la temperatura de baño deseada.

Los colectores solares especializados en piscinas poseen las siguientes características técnicas:

- Están compuestos de plásticos (normalmente polipropileno o polietileno) y no disponen de cubierta protectora.
- Permiten temperaturas del agua entre 24°C y 30°C.
- El caudal es del orden de 150-300 litros/hora, según el fabricante, por m<sup>2</sup> de captador instalado.
- La temperatura en los colectores no sobrepasa los 60°C, esto hace que sea posible utilizar conductos de PVC.
- No se utiliza depósito de acumulación.

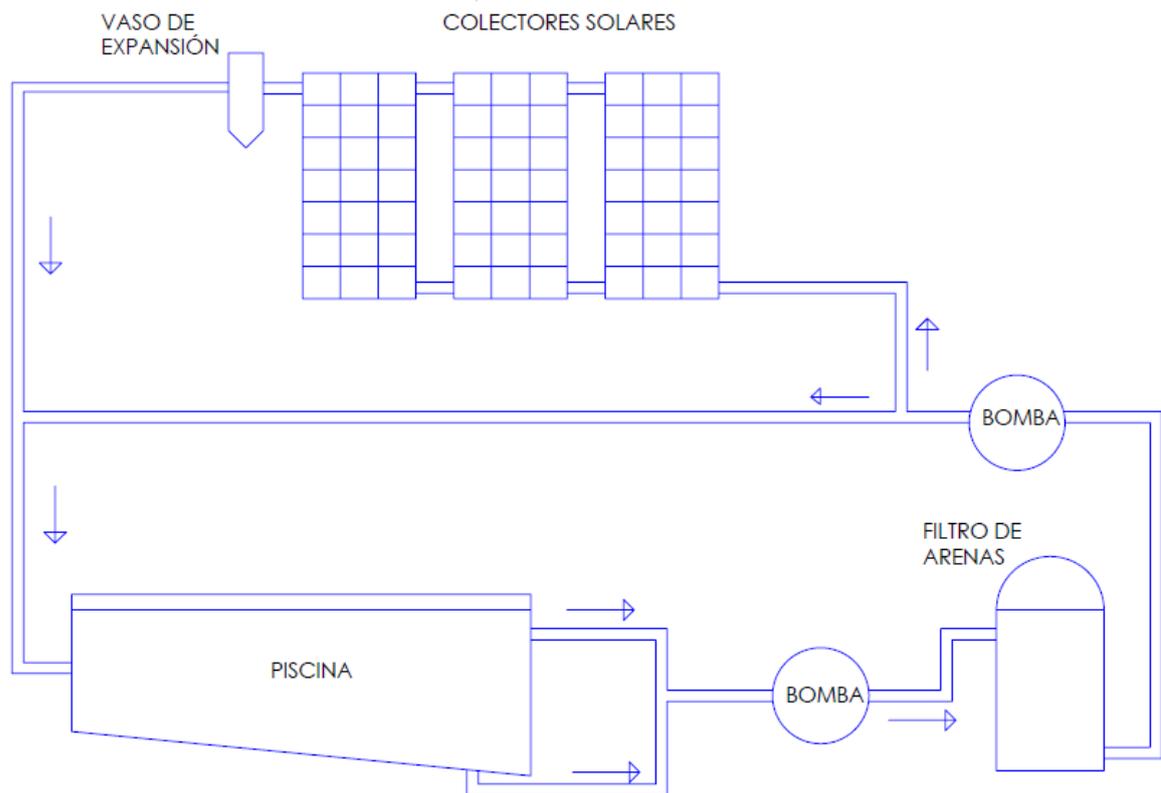


Ilustración 4. Instalación con agua sin acumulación

### 3.2 Instalación térmica con acumulador con fluido caloportador orgánico

Este tipo de esquema (ver ilustración 5) se caracteriza por disponer de un acumulador de agua que intercambia calor con el líquido caloportador orgánico (aceite de silicona, líquido orgánico sintético...) de los colectores mediante un serpentín, el cual circulará de forma aislada en un circuito con paneles solares y el vaso de expansión.

El agua recorre el sistema de filtrado y es impulsada por la bomba solar hasta la parte inferior del acumulador, el cual estará rodeado de un serpentín por donde circula el fluido orgánico caliente de los colectores solares que aportará el calor necesario al agua para alcanzar la temperatura necesaria.

En el acumulador se producirá el fenómeno de la denominada estratificación de calor donde la temperatura aumenta gradualmente a la vez se sube en la altura del acumulador. Debido a esto, la extracción del agua caliente del acumulador se realizará por la parte superior de éste, para confluir con el otro flujo de agua procedente del filtro y continuar hasta los inyectores de la piscina, de la misma manera que la alternativa anterior.

Esta distribución también incluiría un sistema de regulación similar al del caso anterior pero incluyendo una sonda térmica adicional en el acumulador de agua.

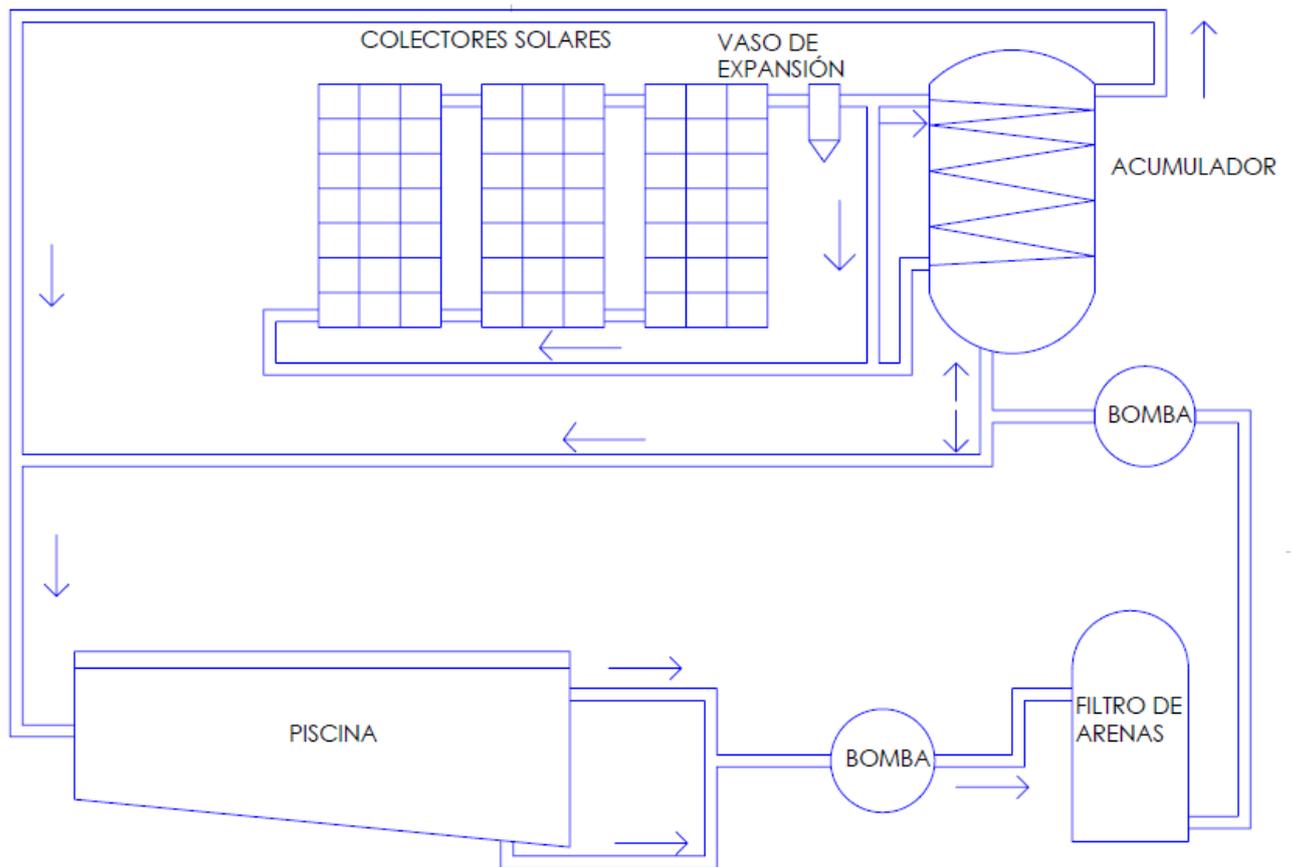


Ilustración 5. Instalación con acumulación y fluido orgánico

Presentadas ya las dos alternativas estudiadas para nuestra instalación, se destacan los siguientes puntos positivos e inconvenientes de cada una:

#### Ventajas:

- **Ahorro económico:** con esta distribución, se podrían instalar tuberías de PVC y captadores sin cubierta de polipropileno, bastante más económicos que otras opciones como las tuberías de cobre o los colectores de aluminio con cubierta de vidrio templado. Además también se ahorraría al no necesitar acumulador.
- Los colectores solares para climatización de piscinas trabajan directamente con el agua de la piscina, lo que aporta más simplicidad y seguridad a la instalación ya que las temperaturas máximas alcanzadas en los captadores estarían en torno a 30°C.

#### Desventajas:

- Se utilizan colectores solares especializados para piscinas lo cuales incorporan materiales menos conductores que poseen menor rendimiento de aprovechamiento de energía solar.
- Los captadores no disponen de cubierta, lo que los hace más vulnerables a la suciedad, lo que reduciría la captación solar, y a los elementos meteorológicos como el granizo.

- Al no disponer de acumulador, el tiempo de respuesta para calentar el agua hasta la temperatura deseada aumentará. Además de no contar con un volumen de agua caliente de reserva para momentos del día en los que se reduzca la radiación solar

En base a estas conclusiones las distribución escogida será la alternativa sin acumulador y con fluido de trabajo agua.

## 4. Cálculo de la intensidad incidente real

Previamente a detallar la implementación de la instalación de colectores solares en el sistema de filtrado de la piscina se procederá al cálculo de la superficie de paneles necesaria

### 4.1 Energía media incidente

La energía incidente **E** es la energía que incide en un día medio de cada mes en MJ sobre un m<sup>2</sup> de superficie de colectores con la orientación y ángulo escogidos.

El primer paso para hallar **E** es conocer la irradiación o energía media incidente **H** que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio del mes en cuestión y en la localización de nuestros colectores.

$$E(\text{MJ}/(\text{día} * \text{m}^2)) = \alpha * \beta * k * H(\text{MJ}/(\text{día} * \text{m}^2))$$

Este valor se expresa en MJ/día\*m<sup>2</sup> y puede consultarse en tablas [3], pero se le han de aplicar unos factores de corrección **α**, **k** y **β** los cuales varían según las siguientes situaciones:

- Factor de ubicación α: si los colectores se encuentran en una zona de alta montaña, se aplicará un factor 1,05 y si la ubicación es en una ciudad o en zonas con fuertes índices de polución, a la irradiación se le aplicará un coeficiente de 0,95. En nuestro caso se aplicará un **α** de 0,95. [1]
- Factor de inclinación k: este valor es dependiente de la latitud a la que se encuentre la piscina, la inclinación escogida para los colectores y el mes a estudiar. En nuestro caso la latitud de Zaragoza es de 41 ° y como la piscina solo va a ser usada en temporada de verano, la inclinación óptima de los colectores será el valor de la latitud menos 10°, aproximadamente 31°. [2]

Latitud = 41°

Inc	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.07	1.06	1.05	1.03	1.02	1.02	1.02	1.03	1.05	1.08	1.09	1.09
10	1.14	1.12	1.09	1.06	1.03	1.02	1.03	1.06	1.1	1.15	1.18	1.17
15	1.21	1.17	1.12	1.07	1.04	1.03	1.04	1.08	1.14	1.21	1.26	1.24
20	1.26	1.21	1.15	1.08	1.04	1.02	1.04	1.09	1.17	1.27	1.33	1.31
25	1.31	1.24	1.17	1.09	1.03	1.01	1.03	1.1	1.2	1.32	1.39	1.37
30	1.35	1.27	1.18	1.08	1.01	.99	1.02	1.09	1.21	1.35	1.44	1.42
35	1.38	1.29	1.18	1.07	.99	.96	.99	1.08	1.22	1.38	1.49	1.47
40	1.4	1.3	1.18	1.05	.96	.93	.96	1.06	1.22	1.4	1.52	1.5
45	1.42	1.3	1.16	1.03	.93	.89	.93	1.04	1.21	1.41	1.55	1.52
50	1.42	1.3	1.14	.99	.88	.84	.88	1.01	1.19	1.41	1.56	1.54
55	1.42	1.28	1.12	.95	.83	.79	.84	.97	1.17	1.41	1.57	1.54
60	1.41	1.26	1.08	.91	.78	.73	.78	.92	1.14	1.39	1.56	1.54
65	1.39	1.23	1.04	.85	.72	.67	.72	.87	1.09	1.36	1.54	1.53
70	1.36	1.19	.99	.8	.66	.61	.66	.81	1.04	1.32	1.52	1.5
75	1.32	1.15	.94	.73	.59	.54	.59	.74	.99	1.28	1.48	1.47
80	1.28	1.1	.88	.67	.52	.46	.52	.67	.93	1.23	1.44	1.43
85	1.23	1.04	.82	.6	.44	.39	.44	.6	.86	1.16	1.38	1.38
90	1.17	.98	.74	.52	.36	.31	.36	.52	.78	1.09	1.32	1.32

Tabla 1. Factor de corrección k

- **Factor de pérdidas de circulación  $\beta$** : este valor tiene en cuenta las pérdidas de calor al inicio y al final de las horas útiles de Sol, cuando los colectores trabajan a menos temperatura y el fluido caloportador circula a menos velocidad. Estas pérdidas se aproximan como un 6% del total de energía, por lo que  $\beta$  será de 0,94. [1]
- Además de estos factores de corrección, también sería necesario tener en cuenta obstáculos al paso de la radiación solar que pudieran variar la cantidad de energía captada por los colectores, como nieblas constantes, vientos fríos, lluvias, etc. No se tendrán en cuenta para este estudio debido a que se trabajará con datos mensuales en los que estas pérdidas de energía son despreciables.

Así pues, teniendo en cuenta todos los factores de corrección descritos anteriormente, la fórmula para calcular la energía incidente sobre 1 m<sup>2</sup> de colector en un día medio mensual sería la siguiente:

$$E(\text{MJ}/(\text{día} * \text{m}^2)) = 0,95 * 0,94 * k * H(\text{MJ}/(\text{día} * \text{m}^2))$$

Conocidos ahora los valores de energía incidente para cada mes [3], se procederá a calcular la intensidad incidente útil por m<sup>2</sup> de colector.

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
Radiación horizontal, H [MJ/(día * m <sup>2</sup> )]	28,08	27,36	23,4	18,36
Factor k , corrección de inclinación	0,99	1,02	1,09	1,21
Energía incidente, E [MJ/(día * m <sup>2</sup> )]	24,824	24,921	22,776	19,838

Tabla 2. Resultados de energía incidente en los meses de estudio

## 4.2 Intensidad incidente

La intensidad incidente es la energía incidente realmente aprovechable en un día, es decir la energía captada en las horas con más radiación solar, en las denominadas horas solares útiles. La intensidad solar varía a lo largo de esas horas útiles pero para efectuar el dimensionado, se trabajará con un valor medio diario que será el cociente de la energía solar incidente a lo largo del día por m<sup>2</sup> y las horas de sol útiles medias mensuales.

En la ilustración 6 se pueden observar las horas medias de sol útiles al mes, según latitud. En este estudio solo se tendrán en cuenta los meses junio, julio, agosto y septiembre, que son los meses habituales de apertura de piscinas.

LATITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
De +25° a +45° (Hemisf. Norte)	8	9	9	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9	9	8	7,5
De -25° a +25° (Zona Ecuatorial)	8,75	9,25	9,5	9,25	9,75	8,5	8,75	9,25	9,5	9,25	8,75	8,5
De -25° a -45° (Hemisf. Sur)	9,5	9,5	9	9	8	7,5	8	9	9	9,5	9,5	9,5

Ilustración 6. Horas diarias útiles de luz solar

Se convierten las unidades a Vatios por comodidad en los cálculos y para mejorar la interpretación de resultados:

$$I (W/m^2) = \frac{E (MJ / (\text{día} * m^2))}{\text{horas útiles/día} * 3600 \text{ seg/hora}}$$

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TEMPORADA
<b>Potencia de irradiación, I [W/m<sup>2</sup>]</b>	725,868	728,688	665,99	612,30033	<b>2.732,84633</b>

Tabla 3. Potencia de irradiación

## 4.3 Rendimiento mensual de los colectores

Como última restricción a la captación solar de los colectores, resta tener en cuenta el rendimiento de los colectores escogidos.

Este rendimiento depende del rendimiento óptico y del coeficiente de pérdidas del modelo de colector, datos aportados por el fabricante, de la temperatura media ambiente mensual [4], de la temperatura deseada del agua a la salida de los colectores y de la intensidad incidente mensual. Se calcula por medio de la siguiente fórmula [1]:

$$\eta = \eta_0 - \text{pérdidas} (W/^{\circ}C * m^2) * \left( \frac{T_{\text{piscina}} (^{\circ}C) - T_{\text{amb}} (^{\circ}C)}{I (W/m^2)} \right)$$

Los resultados de rendimientos de los colectores, al ser dependientes del modelo de captador solar escogido, se presentarán en el apartado 7.

#### 4.4 Energía mensual neta disponible

Para concluir con el cálculo de energía aprovechable por los colectores solares, se debe realizar el producto del rendimiento de colectores con la intensidad incidente real para de esta manera hallar la energía solar mensual real disponible [1].

$$\text{Energía mensual disponible (W/m}^2\text{)} = \eta * I \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Los resultados de este apartado, como los del anterior, dependerán del modelo de captador y se encuentran también el apartado 7.

### 5. Pérdidas de calor en la piscina

Conocida ya la energía solar neta disponible por m<sup>2</sup> de colector, resta calcular las necesidades energéticas de la piscina para aumentar su temperatura hasta un valor en el que el baño sea agradable, la cual se establecerán en torno a los 25°C. Con estos datos ya se podrá proceder a calcular la superficie de colectores necesaria para instalación.

Las pérdidas de calor en una piscina son provocadas por multitud de factores, de los cuales se han elegido los más relevantes en cantidad, teniendo en cuenta que nuestra piscina está en sombra. Estas serán las pérdidas por evaporación, convección, radiación, renovación diaria de agua y por conducción.

En los siguientes subapartados se procederá a describir cada una de las pérdidas de calor individualmente:

#### 5.1 Pérdidas por evaporación

Las pérdidas por evaporación son las más relevantes en una piscina exterior y tienen su mayor dependencia en la velocidad del viento y la diferencia entre la presión de vapor saturado a la temperatura de la superficie de la piscina y la presión de vapor saturado parcial a la temperatura del aire. También tendrá dependencia directa de la superficie de lámina de agua de la piscina. Se utilizará la siguiente fórmula [5]:

$$Q_{evap}(W) = S_{lámina\ agua}(m^2) * h_{evap}(W/m^2 * Pa) * (P_{v,sat}(Pa) - P_{v,amb}(Pa))$$

Primeramente, para tener en cuenta el efecto de la velocidad de viento, se incluye en la fórmula un coeficiente de transferencia de calor por evaporación, el cual será calculado mediante una función empírica dependiente de la velocidad de viento media mensual.

$$h_{evaporación}(W/m^2 * Pa) = a + b * v^n$$

- v es la velocidad de viento media mensual en m/seg.
- a, b y n son unas constantes que varían según que método se escoja para el cálculo.

Se han considerado las metodologías expuestas en la tabla 4.

Método	a ( $W/m^2 * Pa$ )	b( $W * s/m^3 * Pa$ )	b ( $W * s^{1/2}/m^{5/2} * Pa$ )	n
<b>McMillan/Woolley</b>	0,036	0,025	-	1
<b>ISO TC 180</b>	0,0506	0,0669	-	1
<b>Richter</b>	0,0423	-	0,0565	0,5
<b>Smith</b>	0,0638	0,0669	-	1
<b>ASHRAE</b>	0,089	0,0782	-	1
<b>Rohwer</b>	0,085	0,0508	-	1
<b>Lam</b>	0,0408	0,0428	-	1

Tabla 4. Métodos de cálculo del coeficiente de evaporación

A continuación se describen brevemente cada uno de los métodos y los criterios utilizados a la hora de escoger entre ellos [5], [6], [7]:

- **Correlación de Rohwer (1931)**: es el modelo más antiguo de todos los considerados, y fue determinado mediante experimentos en pequeños recipientes de agua. Queda descartado por disponer de modelos más actualizados que se adaptan más al caso que concierne.
- **Ecuación de McMillan (1971)**: mediante resultados experimentales se demostró que era más adecuada para grandes masas de agua lejanas de los núcleos urbanos como lagos o embalses. Queda descartada para nuestro caso.
- **Ecuación de Richter (1979)**: es una de las ecuaciones que, a pesar de su antigüedad, se ha demostrado que se aproxima con bastante precisión a los datos medidos experimentalmente, especialmente para piscinas exteriores, de un tamaño considerable. No será el modelo escogido debido a que no tiene en cuenta las pérdidas de calor provocadas por los bañistas, habría que contabilizarlas como pérdidas por separado y, de ahí, que el valor de las constantes sea el más pequeño.
- **Norma ISO TC 180 (1995)**: es una ecuación la cual se ha probado que muestra resultados más precisos cuanto más lo sean los valores de velocidad del viento utilizados. En nuestro caso, al utilizar datos de viento medios mensuales, este método quedaría también descartado.
- **Ecuación de Smith (1994)**: las constantes de esta ecuación fueron obtenidas de forma experimental en una piscina exterior en la universidad estatal de Colorado en Fort Collins (EEUU). Este es el modelo que más se adapta a las condiciones del proyecto ya que fue realizado en una piscina en el hemisferio norte y a una latitud de 40,55º, muy cercana a la de Zaragoza de 41,63º, además de que tiene en cuenta las pérdidas de calor por evaporación debidas a al movimiento del agua producido por los bañistas. [8]
- **Correlación ASHRAE (2003)**: esta correlación tiene en cuenta la presencia de un número considerable de ocupantes en la piscina, los que aumentan las pérdidas por evaporación, es por ello que tiene las constantes más elevadas de todos los métodos. En nuestro caso, la piscina está situada en una urbanización privada y no se cree tan relevante la contribución a las pérdidas por los bañistas.

- Modelo de Lam (2000): este modelo fue creado a partir de la ecuación de Smith anteriormente comentada, para el cálculo de las pérdidas en una piscina en Hong Kong. Se descarta este modelo por haberse creado especialmente para el cálculo de pérdidas en una localización en el hemisferio sur y a una latitud muy distinta en valor a la de Zaragoza, pero, en su defecto, se escogerá el método base de éste, la ecuación de Smith.

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
<b>Velocidad de viento media diaria (m/s)</b>	4,833	4,611	5,139	3,889
<b>Coefficiente de transferencia de calor por evaporación (W/(m<sup>2</sup>*Pa))</b>	0,387	0,372	0,407	0,324
<b>Presión de vapor a T<sup>a</sup> elegida piscina (Pa)</b>	3169,75	3169,75	3169,75	3169,75
<b>Presión de vapor a T<sup>a</sup> ambiente media diaria (Pa)</b>	2472,85	2985,63	2914,64	2442,59
<b>Pérdidas por evaporación (kW)</b>	<b>82,61</b>	<b>20,98</b>	<b>31,84</b>	<b>72,13</b>

Tabla 5. Resultados de las pérdidas por evaporación

En la tabla 4 se puede observar una gran diferencia entre las pérdidas por evaporación en junio y septiembre respecto a las de julio y agosto. Esto es causado por las altas presiones de vapor a temperatura ambiente media en julio y agosto.

## 5.2 Pérdidas por convección

Las pérdidas por convección al aire, al igual que las de evaporación, dependen en gran parte de la velocidad del viento, la cual se tendrá en cuenta de nuevo mediante un coeficiente, en esta ocasión denominado coeficiente de convección. También son dependientes de la superficie de lámina de agua de la piscina y de la diferencia de temperaturas entre el agua y el aire.

Para el cálculo del coeficiente de convección se utilizará la fórmula [5], [6]:

$$Q_{conv}(W) = S_{lámina\ agua}(m^2) * h_{conv}(W/m^2 * K) * (T_{piscina}(K) - T_{amb}(K))$$

$$h_{convección}(W/m^2 * K) = c + d * v$$

Método	c (W/m <sup>2</sup> * K)	d(W * s/m <sup>3</sup> * Pa)
<b>Lam</b>	2,8	3
<b>Ruiz</b>	3,1	4,1

Tabla 6. Métodos de cálculo del coeficiente de convección

- v es la velocidad de viento media mensual en m/seg.
- c y d son constantes y dependerán del método que se considere a la hora de calcular el coeficiente de convección.

Entre estos dos métodos se descarta el método de Lam, ya que para el cálculo fuera riguroso habría que haber escogido este modelo también para el coeficiente de pérdidas por evaporación. Se hará uso de las constantes de Ruiz para el cálculo de las pérdidas por convección.

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
<b>Temperatura media diaria (°C)</b>	20,9	24	23,6	20,7
<b>Velocidad de viento media mensual (m/s)</b>	4,833	4,611	5,139	3,889
<b>Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/(m<sup>2</sup>*Pa))</b>	22,916	22,005	24,169	19,044
<b>Pérdidas por convección (kW)</b>	<b>28,77</b>	<b>6,74</b>	<b>10,36</b>	<b>25,07</b>

Tabla 7. Resultados de las pérdidas por convección

En estos resultados también se ve una amplia diferencia entre las pérdidas por convección en julio y agosto respecto a junio y septiembre, debida en este caso a la diferencia de temperaturas medias diarias.

### 5.3 Pérdidas por radiación

Las pérdidas por radiación se producen debido al intercambio de radiación infrarroja del agua con el ambiente. En su mayor parte dependen de la temperatura del agua, la del ambiente y de la superficie de lámina de agua.

Para determinar su valor se hará uso de la ecuación de Stefan-Boltzmann [5]:

$$Q_{rad}(W) = S_{lámina\ agua}(m^2) * \sigma * \epsilon_{agua} * (T_{piscina}^4 - T_{ambiente}^4)$$

- $\sigma$ : constante de Stefan-Boltzmann  $5,67 \times 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>\*K<sup>4</sup>).
- $\epsilon_{agua}$ : emisividad del agua, se fijará en el valor de 0,95.

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
<b>Temperatura media diaria (°C)</b>	20,9	24	23,6	20,7
<b>Pérdidas por radiación (kW)</b>	<b>7,01</b>	<b>1,73</b>	<b>2,43</b>	<b>7,35</b>

Tabla 8. Resultados de las pérdidas por radiación

Al igual que en las pérdidas por evaporación y convección la temperatura media diaria es la que causa el aumento de las pérdidas en junio y septiembre.

### 5.4 Pérdidas por renovación de agua

Las pérdidas por renovación de agua se producen como consecuencia directa de las pérdidas por evaporación ya que provocan una reducción del volumen de agua de la piscina que hay que rellenar diariamente. El problema de añadir nueva agua a la piscina es que esta se encuentra a la temperatura de la red, considerablemente por debajo de la temperatura ambiente en los meses de verano. Esto provocará un descenso de la temperatura de la totalidad de la piscina.

Para contabilizar estas pérdidas se recurrirá al principio cero de la termodinámica:

$$Q_{renov}(W) = C_{p,agua}(W/kg * K) * \%renov * m(kg) * (T_{piscina}(K) - T_{red}(K))$$

- $C_{p,agua}$ : 4.180 (J/kg\*K) = 0,048379 (W/kg\*K)
- $m$ : masa de agua de la piscina total = 230 Toneladas (aproximadamente).
- $\%renov$ : se tomará como referencia una renovación del 5% del volumen total de la piscina al día. [13]
- $T_{red}$ : temperatura del agua de la red pública. [12]

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
Temperatura agua red pública (°C)	17	20	19	17
Pérdidas por renovación de agua (kW)	4,45	2,78	3,34	4,45

Tabla 9. Resultados de pérdidas por renovación de agua

La gran dependencia de estas pérdidas es la temperatura del agua de red, la cual es más fría y causa mayores pérdidas en junio y septiembre.

### 5.5 Pérdidas por conducción

Las pérdidas por conducción son las pérdidas producidas por el contacto del agua de la piscina con las paredes y el fondo de la misma, los cuales se encuentran a menor temperatura.

No se tendrán en cuenta estas pérdidas ya que su valor es despreciable frente al de las descritas anteriormente.

### 5.6 Demanda total de calor

En la tabla 9 y en el gráfico 1 se pueden observar las distintas contribuciones de las pérdidas de calor a la demanda total de calor en la piscina para toda la temporada de verano.

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TEMPORADA
Pérdidas por evaporación (kW)	82,61	20,98	31,84	72,13	207,56
Pérdidas por convección (kW)	28,77	6,74	10,36	25,07	70,94
Pérdidas por radiación (kW)	7,01	1,73	2,43	7,35	18,52
Pérdidas por renovación de agua (kW)	4,45	2,78	3,34	4,45	15,03
<b>DEMANDA TOTAL DE CALOR (kW)</b>	<b>122,84</b>	<b>32,24</b>	<b>47,96</b>	<b>109,00</b>	<b>312,05</b>

Tabla 10. Resultados totales de pérdidas de calor

Según los resultados presentados, las pérdidas de calor más relevantes, representando un 66 % del total, son las producidas por evaporación del agua de la piscina; seguidas por las pérdidas por convección, con un 23% y por último, menos importantes, las pérdidas por radiación y renovación del agua, las cuales suponen respectivamente el 6% y 5% del total.

Mediante la comparación con los artículos de la bibliografía [5] [6] [7], se puede afirmar que las contribuciones de cada tipo de pérdidas al balance total varían notablemente si la piscina es cubierta o al aire libre. Este efecto repercute de forma más directa en las pérdidas por evaporación las cuales son más elevadas en piscinas exteriores como la de este proyecto

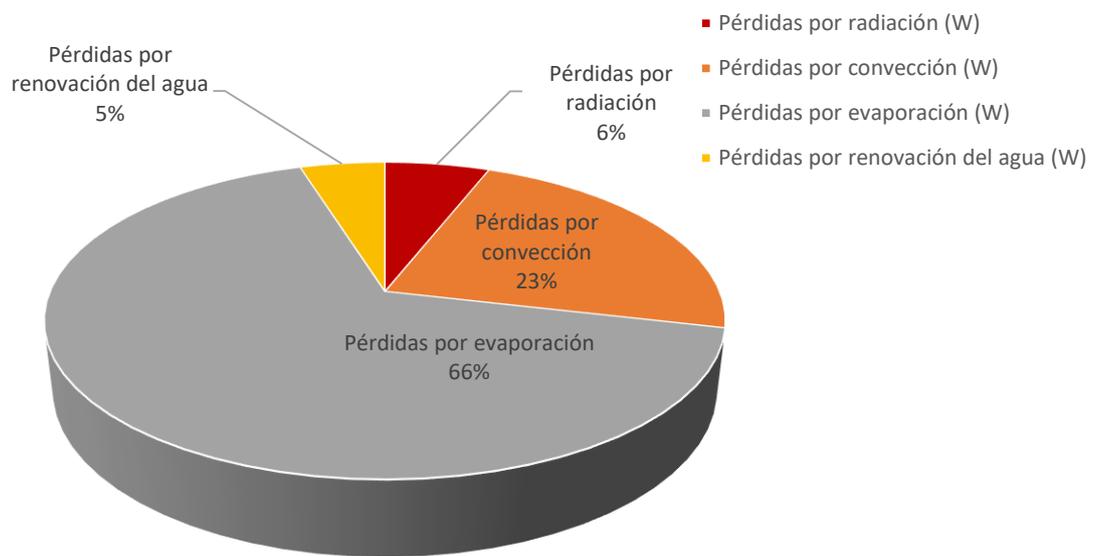


Gráfico 1. Contribuciones de los distintos tipos de pérdidas de calor al balance total

## 6. Medida de temperaturas de agua y ambiente en un día de Julio con *Arduino*

En una piscina exterior en sombra, la diferencia de temperaturas entre agua y ambiente es el factor más determinante para las pérdidas de calor ya que al no recibir radiación solar directa, la piscina siempre estará a menor temperatura que el aire contiguo.

Para conocer más en profundidad como varían estas temperaturas, se llevó a cabo un experimento (ilustraciones en anexo III) a pequeña escala durante un día regular de Julio. Mediante dos sensores de temperatura conectados a una placa con *Arduino One* (ver ilustración 7), se programó un código (ver anexo II) que leía y guardaba las temperaturas de aire y agua de un volumen de agua a la intemperie y en sombra.

Más concretamente, el código graba las dos temperaturas leídas por los sensores cada 10 minutos, posteriormente se calcula la media de temperaturas para cada hora en cada sensor.

Componentes electrónicos utilizados:

- Microcontrolador *Arduino One Rev3*.
- 2 sensores de temperatura para líquidos DS18B20.
- Resistencia de 4,7 kΩ.
- Placa de conexiones y cables.

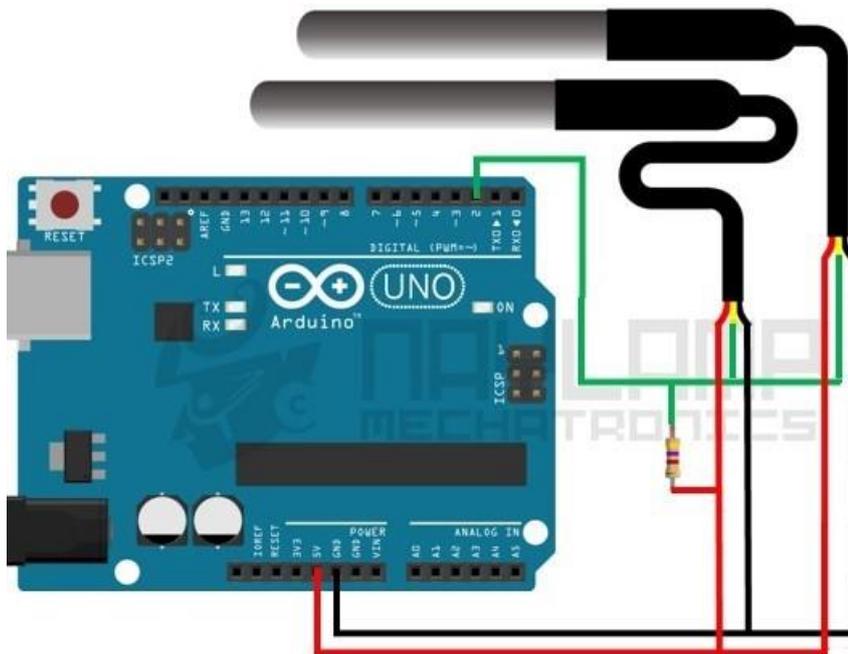


Ilustración 7. Esquema de montaje de sensores de temperatura con Arduino

En la tabla 10 y en el gráfico 2 se muestran los resultados obtenidos.

<b>Hora</b>	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
<b>Temperatura agua (°C)</b>	19,7	21,0	22,1	23,0	23,8	24,1	24,2	24,6
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,4	22,8	24,2	25,1	26,2	27,9	28,6	28,2

<b>Hora</b>	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
<b>Temperatura agua (°C)</b>	25,7	26,8	27,4	27,1	26,6	24,1	23,0	22,1
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	31,6	32,1	33,1	30,2	26,9	25,0	23,4	22,3

<b>Hora</b>	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00
<b>Temperatura agua (°C)</b>	21,1	20,1	19,1	18,3	17,9	18,1	18,4	19,1
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,2	20,0	19,1	18,4	18,1	18,1	18,7	19,9

Tabla 11. Lecturas de temperatura de Arduino a lo largo de un día regular de Julio.

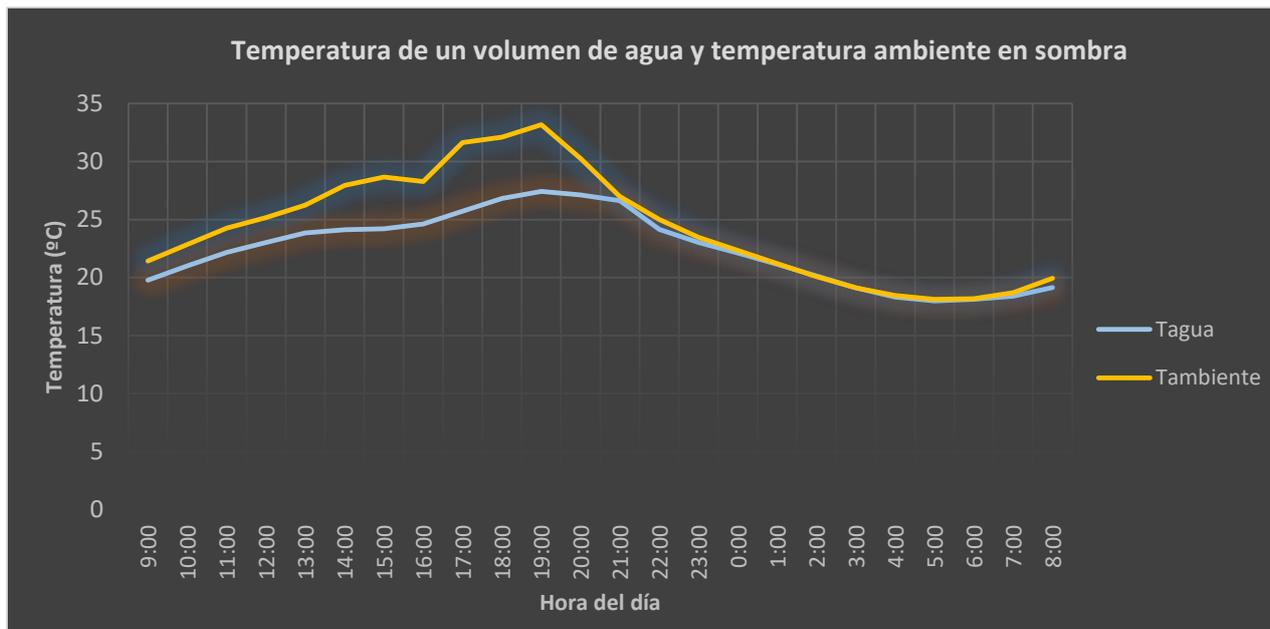


Gráfico 2. Lecturas de temperatura del agua y del aire de Arduino

Como se puede observar en el gráfico 2, la temperatura del agua nunca llega a superar a la temperatura ambiente debido a que el agua no recibe radiación solar directa.

Es interesante darse cuenta que durante la noche ambas temperaturas se equiparan, lo que quiere decir que la temperatura nocturna es la que marcará la temperatura de la piscina por la mañana y con ello, el calor a aportar al agua para conseguir la temperatura deseada.

También se puede observar que la máxima diferencia entre ambas temperaturas, a pesar de ser más lógico que suceda a las horas de más calor del día (entre las 15:00 y 17:00), se da algunas horas más tarde, en torno a las 19:00. Esto es mayormente debido a que la piscina está en sombra y en un patio rodeado de edificios, lo que provocará que la temperatura del aire más próximo al agua aumente considerablemente sólo cuando comiencen a calentarse el suelo y los edificios más cercanos, lo cual sucederá normalmente un par de horas más tarde a las horas de más calor del día.

## 7. Componentes de la instalación

### 7.1 Colectores solares

Tras comparar varios modelos de distintos fabricantes (ver tabla 11) se ha decidido utilizar los captadores solares de la marca *Solapool* [10], los cuales están especialmente diseñados para climatizar piscinas al aire libre en temporada veraniega.

Colectores <i>Solapool</i>	Otros colectores del mercado
Poseen de <u>varios modelos con distintas superficies de captación</u> , según el tamaño de la piscina.	Único modelo, normalmente con bajo número de m <sup>2</sup> por colector.
Están hechos a base de <u>polipropileno con aditivos especiales</u> que favorecen la captación de energía y los protegen de la radiación ultravioleta.	Hechos a base de <u>metacrilato o plásticos reforzados</u> con fibra de vidrio los cuales tienen menos conductividad térmica y <u>peores propiedades</u> contra agentes químicos y la radiación ultravioleta
Rendimiento óptimo aún a baja temperatura.	Algunos colectores presentan rendimientos muy reducidos al trabajar a temperaturas bajas.
Instalación muy sencilla, el fabricante vende todos los componentes adicionales necesarios.	Normalmente hay que recurrir a varios fabricantes para obtener todo lo necesario para la instalación.
Mismos precios por m <sup>2</sup>	

Tabla 12. Ventajas de los Solapool respecto a otros captadores

Las características técnicas principales de los captadores solares para piscinas Solapool son las siguientes:

- Temperatura alcanzable del agua: 24-27°C.
- Caudal recomendado de 100 litros/hora por m<sup>2</sup> de colector.
- Poseen un rendimiento óptico de 0,924 y un coeficiente de pérdidas de 18,7 W/m<sup>2</sup>\*°C.
- Permiten que el agua contenga cloro, alta salinidad, alguicidas...
- Son capaces de trabajar con grandes caudales de agua.
- Sólo se pueden colocar 8 captadores en línea, en su defecto se deben distribuir en varias baterías.

Estos colectores poseen varias versiones con mayores o menores superficies de captación según las necesidades del usuario, la cuales se pueden ver la ilustración 8:

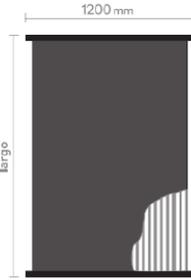
 	Ref.	CONCEPTO	
		Captador solar de polipropileno <b>Solapool</b>	
		Dimensiones (A x L)	Área
<b>2000</b>	1,20 X 2,00 metros	2,40 m <sup>2</sup>	
<b>2002</b>	1,20 X 3,00 metros	3,60 m <sup>2</sup>	
<b>2003</b>	1,20 X 4,00 metros	4,80 m <sup>2</sup>	
<b>2004</b>	1,20 X 5,00 metros	6,00 m <sup>2</sup>	
<b>2005</b>	1,20 X 6,00 metros	7,20 m <sup>2</sup>	

Ilustración 8. Modelos de captadores solares para piscinas Solapool

Debido a que la piscina de nuestro estudio es de gran volumen y la superficie de colectores es bastante elevada, se escogerá el modelo de mayor área (7,2 m<sup>2</sup>), con el objetivo de minimizar las baterías de colectores necesarias, para así ahorrar en tuberías.

En el apartado 8 se calculará definitivamente la superficie de captación necesaria y a partir de ella, el número de colectores y su distribución en distintas baterías.

## 7.2 Sistema de impulsión (bombas)

La instalación de captadores solares necesitará, según las recomendaciones del fabricante [10] de 100 litros/hora por m<sup>2</sup> de colector instalado, de un sistema de bombeo capaz de trabajar en un caudal igual o superior a 90.000 litros/hora. A este valor se le resta el caudal máximo de la bomba del sistema de filtrado (ya instalada en la piscina) de 35.000 litros/hora. Esto deja un caudal restante a aportar por bombas adicionales de aproximadamente 55.000 litros/hora.

Tras realizar una breve búsqueda de distintos modelos de bombas, se concluye que la opción más adecuada es colocar dos bombas centrífugas eléctricas de menor caudal en paralelo para conseguir los 55.000 litros/hora requeridos. La ilustración 10 muestra cómo sería la distribución de las 3 bombas en el circuito hidráulico.

Se ha seleccionado la bomba de 2,2 kW de marca *Hayward* [14], modelo *RS II*, con un punto de operación de 29,5 m<sup>3</sup>/hora y 10 metros de columna de agua.

Se ha escogido con un caudal nominal de 29.500 litros/hora con el fin de sobredimensionar el sistema de conducción y asegurar su adecuado funcionamiento.

### 7.3 Sistema de control

El sistema de control (ver ilustración 9) será similar al planteado en el apartado anterior en el que se analizan las distribuciones posibles de los componentes del sistema de colectores, pero se va a detallar más profundamente.

El componente principal del sistema de regulación es el termostato diferencial con programador, cuya función es leer datos de temperaturas y, si superan un valor fijado manualmente, éste actúa sobre las bombas y detiene el flujo de agua hacia el sistema de captadores solares.

Constará de tres sensores o sondas térmicas (ver ilustración 9):

- **Sensores 1 y 2:** en los conductos de entrada y salida de los captadores solares. La función principal de estos sensores es controlar que la temperatura no supere ni disminuya de ciertos valores, a partir de los cuales se podrían poner en peligro alguno de los componentes de la instalación como las tuberías o los propios colectores.
- **Sensor 3:** se situará en válvula más próxima a la entrada de agua a piscina. Este será el punto donde el termostato leerá la temperatura del agua y la comparará constantemente con el valor fijado en el dial del termostato para realizar el control de la bomba.

Puntos de acción (ver ilustración 9):

- **Puntos 4 y 5:** cuando se sobrepase la temperatura fijada, el diferencial actuará en estos dos puntos para detener las bombas en paralelo.

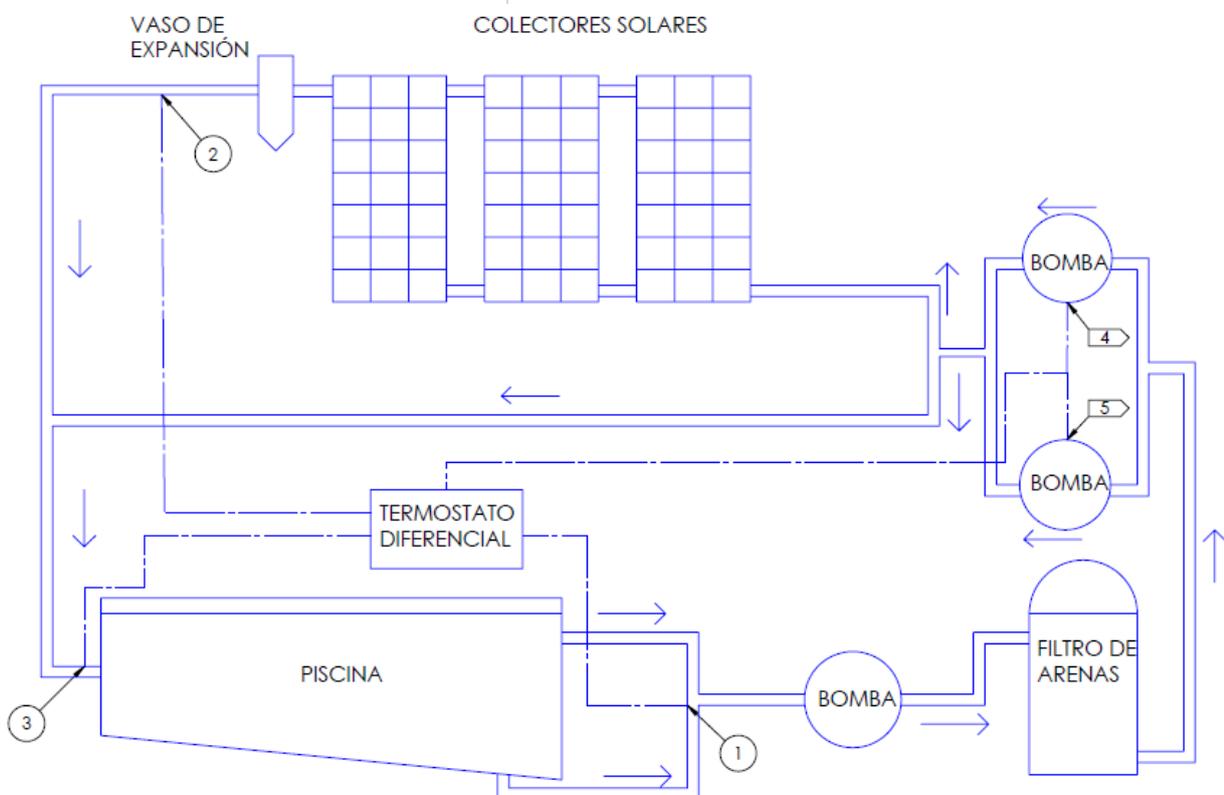


Ilustración 9. Esquema completo de la instalación.

## 7.4 Tuberías y componentes hidráulicos

El material escogido para todas las tuberías es el policloruro de vinilo (PVC), debido a su ligereza, inercia química, versatilidad para su compra y su bajo coste.

A continuación, se llevará a cabo el cálculo del diámetro de tuberías necesario según los caudales de actuación de las bombas y la velocidad de agua marcada por el Código Técnico de la Edificación, de 2 metros por segundo. [17]

Clasificando los conductos según el caudal que ha de circular por ellos, se procede al cálculo de los diámetros internos de tubería por tramo (según ilustración 10):

- Tramo 1, impulsión de bomba filtrado (entre el filtro de arenas y el paralelo de las bombas): en este tramo el caudal máximo será el de la bomba original de la piscina, de 35 m<sup>3</sup>/ hora. Para una velocidad de agua recomendada de 2 m/seg, el diámetro interior de esta tubería deberá ser mínimo de unos 79 mm.
- Tramo 2, alimentación de cada bomba adicional: la mitad del caudal del tramo 1 para cada bomba, mínimo 57 mm de diámetro.
- Tramo 3, impulsión de cada bomba adicional: para un caudal de 28 m<sup>3</sup>/hora por cada bifurcación, resulta un diámetro interior mínimo de 71 mm.
- Tramo 4, tubería general de entrada y de salida de los captadores solares: con un caudal máximo de 55 m<sup>3</sup>/hora da un diámetro interior mínimo de 99 mm.

A partir de estos resultados, se determinará la medida de tubería que finalmente se incluya en la instalación, atendiendo también a los criterios de compatibilidad con las bombas y facilidad de compra en el mercado.

Teniendo en cuenta estos criterios y, tras haber realizado búsquedas en varios fabricantes, se ha observado que el precio por metro no varía mucho al aumentar en diámetro y además los fabricantes aportan descuentos por comprar ciertas cantidades del mismo producto. Por todo ello se escogerá finalmente una tubería de PVC de diámetro exterior 90 mm para todos los conductos.

Determinada ya la sección de tuberías que se instalará, resta calcular la longitud de la red de conductos necesarios para poder realizar el presupuesto.

Se empleará el modelo 3D de la instalación en *SolidWorks* para tratar de obtener un valor lo más aproximado posible para los metros de tuberías. Se estima un valor en torno a los 130 metros de tubería.

## 8. Cálculo de superficie de captadores requerida

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TEMPORADA
<b>Rendimiento captadores</b>	0,81837	0,89833	0,88469	0,79267	-
<b>Energía útil colectores (w)</b>	100.530,5889	28.966,7374	42.433,1009	86.402,6085	<b>258.333,036</b>

Tabla 13. Energía útil captada

$$\text{Superficie de colectores necesaria}(m^2) = \frac{258.333,036 \text{ W}}{2.732,846 \text{ W}/m^2} \cong \mathbf{94,53 \text{ m}^2}$$

$$\text{Número de colectores} = \frac{94,53 \text{ m}^2}{7,2 \text{ m}^2/\text{colector}} \cong \mathbf{13 \text{ colectores}} \text{ (Solapool 2005)}$$

Teniendo en cuenta las limitaciones del fabricante de 8 colectores en serie y con el fin de sobredimensionar el sistema para asegurar el cumplimiento de los requerimientos térmicos establecidos, los captadores serán distribuidos en dos líneas de 7 captadores cada una.

## 9. Presupuesto

Concepto	Nº	Precio unitario	Precio total
Captadores solares (7,2m <sup>2</sup> )	14	413 € / colector [18]	5782 € - 631€ (descuento cantidad) = <b>5151€</b>
Bombas adicionales	2	459 € / bomba [14]	<b>918 €</b>
Sistema de tuberías	120 metros	6,25 € / 3 metros [19]	<b>250 €</b>
Sistema de control (con sondas de temperatura)	1	160 € / sistema [20]	<b>160 €</b>
Otros componentes hidráulicos*			<b>100 €</b>
Mano de obra (1 trabajador)	5 jornadas de 8 horas	8 € / hora	<b>320 €</b>
Coste total de obra			<b>6899 €</b>
Honorarios autor proyecto	10 % del total		<b>690 €</b>
<b>COSTE TOTAL DEL PROYECTO</b>			<b>7589 €</b>

Tabla 14. Presupuesto de los componentes del proyecto

\*Precio aproximado de codos y conexiones en T para conductos, etc.

Observamos que es un presupuesto bastante asequible debido el gran número de viviendas que integran la urbanización de la piscina.

La principal causa de este ahorro es el uso de captadores solares especializados en piscinas, los cuales sólo trabajan hasta cierta temperatura pero son suficientes para el requerimiento térmico que van a tener.

## 10. Conclusiones

Este trabajo está basado en la resolución de un problema, la baja temperatura del agua en una piscina exterior de una urbanización de vecinos debida a la sombra proyectada por los edificios contiguos. Como solución a este problema, se ha decidido instalar colectores solares para captar la energía solar y elevar unos grados la temperatura del agua, hasta que se consiga un baño agradable. Es la mejor alternativa para este proyecto ya que es más barata, energéticamente limpia y fácil de implementar en la piscina, además de ser muy útil en días muy ventosos, habituales en la ciudad, en los que el agua tiende a enfriarse por la acción de éste.

En el desarrollo del proyecto, tras presentar dos alternativas de instalaciones de captadores solares, se calculan los metros cuadrados de paneles solares necesarios a partir de la irradiación solar y las pérdidas de calor de la piscina para los meses de junio a septiembre.

Como un estudio adicional para comprender mejor las oscilaciones de temperatura a lo largo del día en el agua y el aire a la sombra, se llevó a cabo un montaje de sensores de temperatura con *Arduino*. De este experimento se extrajo la conclusión de que el factor más influyente en la temperatura del agua de la piscina durante el día es la temperatura nocturna.

Para finalizar el proyecto se procede con la selección del modelo de los componentes de la instalación (colectores, bombas, sistema de control...), para así poder aplicar el rendimiento de la marca de colectores escogida a la energía absorbida y proceder a calcular la superficie de captadores solares real necesaria. Con todos los componentes ya determinados se calcula el número de colectores y con todos estos datos se elabora el presupuesto general del proyecto.

Como conclusión, se puede afirmar que los captadores solares son una solución viable al problema presentado y además, como se puede observar en el presupuesto, no suponen un desembolso elevado de dinero para la comunidad de vecinos.

## 11. Trabajo futuro

Como trabajo para una futura ampliación de este proyecto, quedarían por profundizar en más detalle los siguientes aspectos:

- Un cálculo más detallado de la longitud de tuberías, número de codos e intersecciones en forma de "T". De esta manera también se llegaría a un presupuesto final de proyecto algo más realista.
- La elaboración de un modelo dinámico por ordenador de control de la temperatura del agua, con el objeto de regular el caudal de agua caliente.
- Realizar una comparativa entre los colectores solares y un sistema por bomba de calor para climatizar la piscina. Las bombas de calor para piscinas se encuentran en auge actualmente y hubiera sido interesante estudiar la rentabilidad económica de esta alternativa frente a la escogida para este proyecto.

## 12. Bibliografía

1. Monné C. *Energías Renovables*. Universidad de Zaragoza, 2017. Apuntes de asignatura energías renovables, Grado de Ingeniería de Tecnologías Industriales, curso 2017-18.
2. Clean Energy Solar [Internet]. Factor de corrección de la inclinación [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://renovablesconsaburum.files.wordpress.com/2015/12/tablas-factor-correccion-k.pdf>
3. Acceso a datos de radiación solar en España [Internet]. Datos promedio de irradiación solar global horizontal [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <http://www.adrase.com>
4. Climate Data [Internet]. Datos de temperaturas ambiente medias diarias en Zaragoza, según mes [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/europe/espana/aragon/zaragoza-3316/>
5. Ruiz E, Martínez PJ. *Analysis of an open-air swimming pool solar heating system by using an experimentally validated TRNSYS model* 2009. Solar Energy [Internet]. 2010 [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X09002564>
6. Lam JC, Chan WW. *Life cycle energy cost analysis of heat pump application for hotel swimming pools*. Energy Conv and Manag [Internet]. 2001 [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890400001461>
7. Buonomano A, De Luca G, Figaj RD, Vanoli L. *Dynamic simulation and thermo-economic analysis of a PhotoVoltaic/Thermal collector heating system for an indoor-outdoor swimming pool*. Energy Conv and Manag [Internet]. 2015 [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415003763>
8. Smith CC, Löf G, Jones R. *Measurement and analysis of evaporation from an inactive outdoor swimming pool*. Solar Energy [Internet]. 1994 [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/325a/02af3f72d8146f89340841037409fbd149c0.pdf>
9. TLV [Internet]. Calculadora online de presión de vapor de agua según temperatura [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-table-temperature.html>
10. Saclima [Internet]. Ficha técnica de captadores solares marca *Solapool*. [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <http://www.saclima.com/>
11. Vernis Motors [Internet]. Datos de la bomba del sistema de filtrado de la piscina [citado 1 julio 2019]. Disponible en: <http://www.vernismotors.com/es/vernismotors-3/>

12. Suelo solar [Internet]. Temperatura del agua de red en capitales de provincia en España según mes [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://suelosolar.com/guiasolares/acs/temph2oes.asp>
13. Albarracín EM, Sanabria J, Maillo J. *Ahorro de energía en piscinas cubiertas*. CIATESA [Internet] [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <http://www.marioloureiro.net/tecnica/eficienciaEnerg/19-B.EvaMAlbarracin-CIATESA.pdf>
14. Quimipool [Internet]. Catálogo comercial de bombas marca *Hayward* [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://www.quimipool.com/9996-bomba-piscina-hayward-rsii-3-hp-trifasica.html>
15. Grabcad [Internet]. Descarga de diseños 3D de bombas, filtro de arenas y placas solares [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://grabcad.com/library/>
16. Pool natural [Internet]. Temperatura ideal de baño para piscinas exteriores en verano [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://www.poolnatural.com/2016/09/14/cual-es-la-temperatura-ideal-para-una-piscina/>
17. Código Técnico de la Edificación (CTE), sección de Salubridad. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>
18. Ecofener [Internet]. Precio y características captadores solares [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://ecofener.com/captadores-solares-termicos-para-calentamiento-de-piscinas/421-panel-captador-solar-termico-para-piscinas-de-120x600cm-solapool-plus-de-polipropileno.html>
19. Leroy Merlin [Internet]. Precio de tuberías, codos y juntas en forma de “T” [citado 3 sept 2019]. Disponible en: [http://www.leroymerlin.es/productos/construccion/evacuacion\\_de\\_agua/tuberias\\_de\\_pvc.html](http://www.leroymerlin.es/productos/construccion/evacuacion_de_agua/tuberias_de_pvc.html)
20. Ecoferner [Internet]. Precio y características de termostatos diferenciales [citado 3 sept 2019]. Disponible en: <https://ecofener.com/termostatos-diferenciales-para-equipos-de-circulacion-forzada/1280-termostato-diferencial-delta-sol-cs4-de-la-marca-resol.html>

## ANEXO I. Tabla Excel para el cálculo de la superficie de colectores necesaria

1. CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE					Volumen(m3)	230
	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	Superficie piscina(m2)	306
Radiación horizontal, H [MJ/(dia* m <sup>2</sup> )]	28,08	27,36	23,4	18,36	Tpiscina deseada(°C)	25
Factor K , para corrección de inclinación	0,99	1,02	1,09	1,21	Masa piscina (Ton)	230
$E = 0.94 * 0.95 * H * K$ [MJ/(dia * m <sup>2</sup> )]	24,82	24,92	22,77	19,84		
2. CÁLCULO DE INTENSIDAD INCIDENTE						
	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE		
Horas útiles de Sol al día [h/dia]	9,5	9,5	9,5	9		
Potencia de irradiación, I [W/m <sup>2</sup> ]	725,87	728,69	665,99	612,30		
					TEMPORADA	
<b>3.POTENCIA DE IRRADIACIÓN DISPONIBLE EN LA TEMPORADA DE UTILIZACIÓN (W/(m<sup>2</sup>*temporada):</b>						2732,846
4. DATOS Y METEOROLOGÍA MENSUAL						
	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE		
Temperatura media (°C)	20,9	24	23,6	20,7		
Velocidad de viento media (m/s)	4,83	4,61	5,14	3,89		
Coeficiente de transferencia de calor por convección (w/(m <sup>2</sup> *k))	22,92	22,00	24,17	19,04		
Coeficiente de transferencia de calor por evaporación (w/(m <sup>2</sup> *Pa))	3,87e-1	3,72e-1	4,07e-1	3,24e-1	Modelo Smith	
Presión de vapor a T <sup>a</sup> elegida piscina (Pa)	3169,75	3169,75	3169,75	3169,75		
Presión de vapor a T <sup>a</sup> ambiente (Pa)	2472,85	2985,63	2914,64	2442,59		
Temperatura agua fría de red (°C)	17	20	19	17		

<b>5. PÉRDIDAS DE CALOR</b>					
	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TEMPORADA
<b>Pérdidas por radiación (W)</b>	7011,416	1737,033	2426,952	7346,021	18521,423
<b>Pérdidas por convección (W)</b>	28768,332	6737,701	10360,342	25073,568	70939,942
<b>Pérdidas por evaporación (W)</b>	82609,331	20987,173	31837,001	72128,962	207562,468
<b>Pérdidas por renovación del agua (W)</b>	4452,676	2782,922	3339,507	4452,676	15027,781
<b>6. GANANCIAS DE CALOR</b>					
	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	
<b>Ganancia por radiación (W)</b>	0	0	0	0	Piscina en sombra
<b>7. CALOR A APORTAR</b>					
	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TEMPORADA
<b>Demanda de calor (W)</b>	122842	32245	47964	109001	312052
<b>8. RENDIMIENTO DE COLECTORES SOLARES:</b>					
	8,18e-1	8,93e-1	8,85e-1	7,93e-1	
<b>9. ENERGÍA ÚTIL COLECTORES (W):</b>					
	100531	28967	42433	86403	258333
<b>10. SUPERFICIE TOTAL DE COLECTORES NECESARIA (m<sup>2</sup>):</b>					
					<b>94,529</b>

## ANEXO II. Programa *Arduino*

Para la elaboración del código se han usado las bibliotecas de *Arduino OneWire* y *DallasTemperature*.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

OneWire Sensor1(2);
OneWire Sensor2(3);

DallasTemperature sensors1(&Sensor1);
DallasTemperature sensors2(&Sensor2);

void setup() {
  delay(1000);
  Serial.begin(9600);
  sensors1.begin();
  sensors2.begin();
}

void loop() {
  sensors1.requestTemperatures();
  float Temp1= sensors1.getTempCByIndex(0);
  sensors2.requestTemperatures();
  float Temp2= sensors2.getTempCByIndex(0);

  Serial.print(Temp1);
  Serial.println(" ");
  Serial.print(Temp2);
  Serial.println(" ");
  delay(60000);    //Escribe los datos leídos por los sensores cada 10 minutos
}
```

### ANEXO III. Montaje de sensores de temperatura con *Arduino*

