

# SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA PISCINA CLIMATIZADA

DELGADO MARÍN, José Pablo <sup>(1)</sup>; GARCÍA CASCALES, José Ramón <sup>(1)</sup>

CABALLERO GARCÍA, Godofredo <sup>(2)</sup>; LÓPEZ PÉREZ, José María <sup>(3)</sup>

pablo.delgado@upct.es

<sup>(1)</sup>Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos

<sup>(2)</sup>Inercia Energía

<sup>(3)</sup>Wiaces

## RESUMEN

El desconocimiento de los mecanismos que provocan las pérdidas térmicas en los vasos de las piscinas climatizadas provoca una fallida e ineficiente estrategia en la operación de las mismas. Una gestión energética más eficiente, junto con la utilización de fuentes de energía renovables como único aporte térmico, pueden producir una reducción considerable en los costes energéticos relativos a su explotación (hasta en un 80%).

El objeto de este trabajo consiste en la instalación de un sistema de instrumentación y control que permita conocer todos los flujos energéticos que se dan en una piscina que incorpora dos fuentes de energía renovables distintas: solar y biomasa. Ambos sistemas satisfacen la demanda de cinco puntos de consumo distintos: calefacción de la sala de la piscina, calefacción de vestuarios y otras estancias, calentamiento del vaso de natación, calentamiento del vaso de chapoteo, y calentamiento de agua de las duchas (ACS). Este sistema de instrumentación y control permite validar empíricamente los distintos modelos propuestos en la bibliografía con el fin de optimizar la gestión de este tipo de instalaciones térmicas.

La completa instrumentación incorpora 9 caudalímetros, 19 sondas de temperatura y una de humedad relativa, y es capaz de registrar 75 parámetros distintos con lapsos de tiempo de 10 minutos. La arquitectura del sistema está basada en módulos inalámbricos, con una centralita constituida por un computador conectado a internet para favorecer su acceso a distancia mediante ordenador, Tablet o teléfono móvil.

Los datos registrados servirán para validar un modelo de simulación dinámica para piscinas climatizadas. De esta manera, se puede optimizar su consumo energético mediante una correcta gestión de sus instalaciones térmicas.

**Palabras clave:** energía solar, biomasa, piscina climatizada, instrumentación y control

## 1. Introducción

En las últimas décadas, con el desarrollo de la sociedad del bienestar, la actividad física ha pasado a ser uno de los hábitos más consolidados de nuestros ciudadanos. Pero entre todas las actividades deportivas, una de las más recomendables por todos los expertos, es la práctica de la natación. La última década ha vivido un florecer de este deporte y, por tanto, de piscinas climatizadas. Salvo casos excepcionales en los que el tamaño de la piscina es de 50x25 m (dimensiones para competiciones olímpicas), en la mayoría de las ocasiones, las piscinas que se han erigido son de dimensiones semiolímpicas (25x12,5 m). Usualmente, estos vasos van acompañados de otros de menor tamaño denominados “de chapoteo”.

Estas instalaciones son muy intensivas en demanda energética, tanto eléctrica como, sobre todo, térmica:

- Energía eléctrica: para la alimentación de las deshumectadoras, que mantienen constante la humedad existente en el aire ambiente, así como para los sistemas de iluminación, bombes y otros pequeños equipos.
- Energía térmica: para mantener la temperatura de los vasos, que están permanentemente perdiendo calor con el entorno, para calentar el agua de aportación de la red en el proceso de renovación permanente del agua que exige sanidad (mínimo 2,5% del volumen total cada día), para calefactar el ambiente de las piscinas y resto del edificio, y para la producción del agua caliente sanitaria utilizada en las duchas.

En el primer caso la fuente de energía está clara, y su eficiencia dependerá de los equipos consumidores y de su estrategia de funcionamiento: equipos de compresión y ventilación en la deshumectadora, bombas y sistemas de iluminación interior.

Sin embargo, en el segundo caso, la demanda no sólo es muy alta, sino que en la mayoría de los casos existe un desconocimiento a priori de la cantidad de energía que va a demandar la instalación y, por consiguiente, de su coste.

## 2. Objetivos

### 2.1. Demanda de energía en piscinas climatizadas

Se ha requerido información de cuatro piscinas municipales de tamaño semiolímpica para analizar el consumo de energía de sus instalaciones a partir de los datos de facturación. Tres de ellas tienen un consumo anual comprendido entre 750 y 790 MWh, mientras que la cuarta eleva su consumo hasta cerca de los 970 MWh al año (Figura 1). De igual manera, en trabajos anteriores [1] se llevó a cabo el análisis de cargas por el método ASHRAE [2] de una piscina de similares características mediante su simulación dinámica utilizando TRNSYS, dando como resultado un consumo anual de 748 MWh, encontrándose este valor en el mismo orden de magnitud de los datos de consumo extraídos de la facturación.

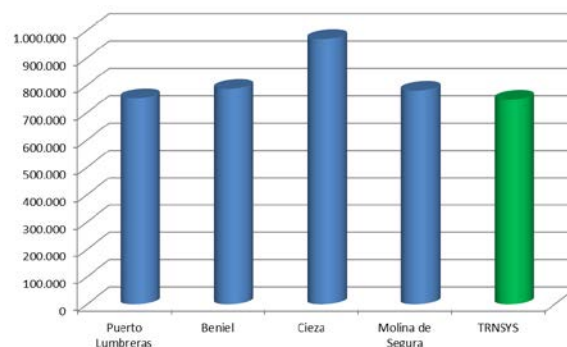


Figura 1: Consumo energético en piscinas municipales vs. modelado en TRNSYS

Sin embargo, la falta de un sistema de instrumentación apropiado, que permita monitorizar y registrar los parámetros más representativos de estas instalaciones, hace difícil profundizar en los mecanismos que provocan su demanda energética. Por tal motivo se propone la instalación de un completo sistema de adquisición y registro de datos que permita validar los modelos de comportamiento dinámico del vaso de la piscina.

## 2.2. Descripción de la piscina municipal de Archena y sus instalaciones

En el año 2005, el Ayuntamiento de Archena promueve la construcción de una piscina climatizada municipal con dimensiones semiolímpicas. La instalación costa de dos vasos, uno para natación, de 25x12,5 m, y otro de chapoteo con dimensiones de 12,5x8 m.

La piscina se puso en marcha en 2006 utilizando, según indicaba el proyecto, una única fuente de energía térmica basada en el propano como combustible. El fuerte incremento de los precios del combustible en los años posteriores hizo que su viabilidad se viera comprometida. Esa fue la causa de que otras piscinas de municipios cercanos tuvieran que cerrar sus puertas de forma definitiva.

En el año 2010, consciente de lo crítico de la situación, el Ayuntamiento de Archena realizó una apuesta estratégica, sustituyendo la caldera original de propano por otra de biomasa, alimentada con pellets de biomasa y apoyada por una generosa instalación solar. Todo ello con el fin de aprovechar los recursos autóctonos del municipio, reduciendo sus emisiones y, a su vez, sus costes de explotación. Esta inversión supuso una reducción del 60% en el coste energético de la piscina, haciéndola de nuevo viable económicamente.

De esta manera, la generación térmica de la instalación queda en manos de los siguientes sistemas:

- Caldera de biomasa LASIAN Bioselect de 250 kW de potencia, alimentada con pellets. Esta caldera puede aportar calor a las siguientes instalaciones:
  - Vaso de natación
  - Vaso de chapoteo
  - Batería de calefacción de la deshumectadora para el ambiente de las piscinas
  - Agua caliente sanitaria
  - Calefacción de los vestuarios y demás dependencias
- Instalación solar térmica que consta de 82 captadores, con una superficie total aproximada de 156 m<sup>2</sup>, lo que hace una potencia estimada de 110 kW. Esta unidad puede aportar calor a las siguientes instalaciones:
  - Vaso de natación
  - Vaso de chapoteo
  - Agua caliente sanitaria

## 2.3. Objetivos del nuevo sistema de instrumentación y control

La situación económica de los últimos años obliga al Ayuntamiento de Archena, a dar un paso más, apostando fuerte por implementar medidas de eficiencia energética en esta instalación que tanta energía demanda cada día. En este sentido, se decide la incorporación en la piscina de un control avanzado mediante el que, registrando todos los parámetros de funcionamiento de la instalación, se permite actuar sobre los distintos sistemas de forma independiente. Todo ello con el fin de obtener el máximo rendimiento energético global de la piscina. De esta manera se reducen los consumos energéticos en un 20%, disminuyendo en igual medida los costes que éstos suponen.

La bibliografía nos muestra que el conocimiento del comportamiento energético de las piscinas climatizadas es limitado, lo que se traduce en una importante dificultad para implementar mejoras efectivas. La mayor parte de los autores han desarrollado métodos teóricos [4] [5] [6] [7] o empíricos

[3] [8] sobre el comportamiento energético de una piscina cubierta, pero estos resultados no han sido suficientemente contrastados en casos reales. De ahí la necesidad de instrumentar la instalación. Todo el conocimiento extraído del registro de sus parámetros podrá ser extrapolado a otras piscinas de similares características.

### 3. Descripción del nuevo sistema de instrumentación y control

#### 3.1. La necesidad de controlar

La causa principal de las pérdidas de calor en una piscina es la evaporación del agua del vaso hacia el ambiente. Los mecanismos que gobiernan este proceso son complejos, ya que son muchos los factores que influyen en el mismo [6], como:

- la temperatura ambiente,
- la humedad relativa y específica en el ambiente,
- la temperatura del agua del vaso,
- la velocidad del aire sobre la piscina, o
- el nivel de agitación del agua.

Esto hace que sea complicado, a priori, conocer la demanda energética de la piscina. Por otro lado, dada la complejidad de las instalaciones, con dos fuentes de energía distintas y cinco puntos distintos de consumo, se hace necesario disponer de mecanismos de control avanzado que sean capaces de priorizar aporte a las demandas en función de los recursos energéticos disponibles en cada instante. Para ello es imprescindible medir las condiciones de funcionamiento en cada instante. Esto se realiza mediante una completa instrumentación de la instalación. Los parámetros que se miden, quedan registrados cada 10 minutos, pudiendo disponer de un histórico diario del comportamiento real de la piscina, para poder analizarlos y obtener conclusiones que realimenten la estrategia de control. Los parámetros registrados son los contenidos en la Tabla 1. Con estos datos, una centralita es capaz de ofrecer información como energías y potencias generadas y consumidas, en tiempo real. Toda esta información es almacenada en archivos diarios para su análisis. En la Figura 3 se incluye un detallado esquema de la instalación con los parámetros registrados.

Tabla 1: Parámetros registrados por el sistema de instrumentación

C1	Caudal de alimentación a la batería de calefacción de la deshumectadora con la caldera	T6	Temperatura de salida tras aporte solar al vaso grande
C2	Caudal de alimentación al calentamiento del vaso grande con la caldera	T7	Temperatura de salida tras aporte solar al vaso pequeño
C3	Caudal de alimentación al calentamiento del vaso pequeño con la caldera	T8	Temperatura de salida tras aporte solar al ACS, en el circuito secundario
C4	Caudal de alimentación a la calefacción de los vestuarios con la caldera	T9	Temperatura de salida del acumulador solar al acumulador principal de ACS
C5	Caudal de alimentación al calentamiento del ACS con la caldera	T10	Temperatura en captadores
C6	Caudal de alimentación al calentamiento del vaso grande con energía solar	T11	Temperatura del agua en el vaso grande
C7	Caudal de alimentación al calentamiento del vaso pequeño con energía solar	T12	Temperatura ambiente en la sala de las piscinas
C8	Caudal de aporte solar al ACS	T13	Temperatura del agua en el vaso pequeño
C9	Caudal de consumo de ACS	T14	Temperatura ambiente en los vestuarios
T0	Temperatura del agua fría de la red	T15	Temperatura de salida del acumulador solar al intercambiador de calor, circuito secundario.
T1	Temperatura de retorno de la deshumectadora a la caldera	T16	Temperatura en el acumulador solar de ACS
T2	Temperatura de retorno del vaso grande a la caldera	T17	Temperatura de suministro de ACS
T3	Temperatura de retorno del vaso pequeño a la caldera	T18	Temperatura en colector principal de la caldera
T4	Temperatura de retorno del circuito de calefacción de	H1	Humedad relativa en el ambiente de la sala de las piscinas
T5	Temperatura de retorno del ACS a la caldera		

### 3.2. Arquitectura del sistema de instrumentación y control

Dado el gran número de parámetros a registrar, se hace complicado y poco eficaz, llevar a cabo un cableado de toda la instalación. Por tal motivo, se decide implementar un sistema de comunicaciones inalámbricas. De esta manera, la centralita, compuesta por un computador conectado a internet para tener acceso remoto, recibe señales encriptadas desde 7 módulos inalámbricos que reciben a su vez las señales de las 29 sondas instaladas. El diagrama de funcionamiento del sistema de instrumentación y control está disponible en la Figura 2.

Las distintas interfaces de control están disponibles vía web, de manera que se puede tener acceso a todos los parámetros desde cualquier ordenador, tablet o smart phone. Los componentes son de grado industrial. La centralita posee certificación CE y EMC, y ha sido adecuadamente protegida. Las entradas y salidas están protegidas contra descargas electrostáticas.



Figura 2: Diagrama de funcionamiento del sistema de instrumentación y control.

Los registros se almacenan en un disco duro de gran capacidad, diseñado para trabajar los 365 días del año, 24 horas al día, de forma ininterrumpida. A los datos almacenados se tiene acceso de forma telemática, a través de internet. Todas las comunicaciones se realizan con un protocolo de encriptación dinámica AES128bit, de manera que la propia red de módulos inalámbricos actualiza la clave de encriptación periódicamente para una conexión segura sin riesgo de intromisión.

La red auto-regenerable garantiza que los módulos inalámbricos nunca pierdan la conexión por error en la recepción de la clave privada, cortes de suministro, etc. La centralita es capaz de detectar y corregir automáticamente cualquier error fortuito producido por ruido eléctrico en la memoria de los módulos.

El tiempo de actualización de los parámetros medidos en la aplicación de control web es de 2 segundos. Pero como ya se ha mencionado con anterioridad, el programa de control almacena todos los datos de la instalación cada 10 minutos y, de forma independientemente, todos los registros de temperatura cada 5 segundos. El control registra:

- energías térmicas consumidas,
- potencias térmicas instantáneas,
- temperaturas,
- humedad,
- caudales,
- volúmenes de agua,
- energía eléctrica consumida,
- potencia eléctrica instantánea.

El usuario puede configurar las consignas de los diferentes elementos de la instalación así como su rango de trabajo. También puede seleccionar qué bomba debe ser gobernada por el control. Esto

permite alternar o desactivar temporalmente el funcionamiento de cada una de ellas en una reparación o cambio de bombas.

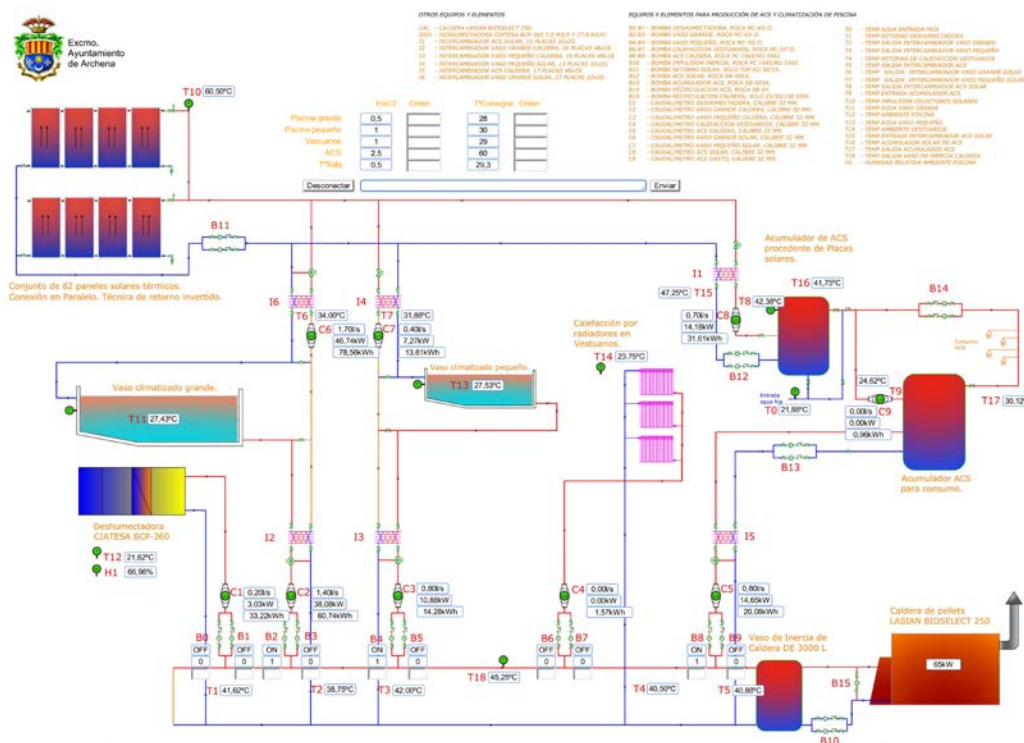


Figura 3: Pantalla del control tipo SCADA.

Cualquier fallo en la instalación es identificado y notificado pasado un tiempo de confirmación. En este sentido el aviso de mayor gravedad se produce cuando la caldera deja de funcionar. En tales casos, tras un tiempo de seguridad se envía el aviso, tanto a través de la web como por correo electrónico, informando del problema.

El sistema supervisa de forma permanente el correcto funcionamiento de las bombas, evitando que una bomba activa trabaje en vacío sin circulación del caudal esperado. En tal caso también se envía un aviso al responsable de la instalación, tanto por web y como a través de un correo electrónico. El sistema también es capaz de supervisar cortes en el suministro eléctrico. Superado un periodo de 10 minutos sin alimentación, si ésta no se reestablece, se envía un aviso inmediatamente al supervisor de la instalación. Los cortes de alimentación no afectan a la centralita de control, ya que dispone de una batería que le aporta suficiente autonomía en caso de falta de suministro.

De igual forma, en caso de fallo de la conexión a internet, dicho evento será registrado por la centralita para el posterior informe y análisis realizado por el servicio técnico. El funcionamiento local del control no se ve afectado por la pérdida de conexión a internet.

#### 4. Resultados alcanzados

El nuevo sistema de instrumentación y control ha permitido evaluar el comportamiento energético de la instalación y ajustar sus parámetros con el fin de optimizarlo. Las gráficas de la Figura 4 representan la evolución en el tiempo de la potencia térmica total suministrada a la piscina (solar y biomasa), la temperatura registrada en el vaso (reboadero), así como el número de bañistas que hay

en la piscina en cada instante. Cada gráfica corresponde a un día completo del mes de marzo de 2015. La temperatura de consigna es de 28°C. De estas gráficas se puede deducir la siguiente información:

- La gráfica d) demuestra que una potencia aportada de 120 kW es suficiente para satisfacer la demanda, manteniendo, e incluso incrementando la temperatura del vaso. Este resultado confirma el obtenido a través del modelado dinámico en TRNSYS [1], con el mismo valor.
- Las gráficas c), d), e) y f) muestran la elevada inercia del sistema, continuando el incremento de temperatura incluso una vez suprimido el aporte térmico.
- La estrategia de funcionamiento dejando únicamente el aporte solar en las horas centrales del día (gráficas a) y b)) permite mantener las condiciones térmicas en el vaso optimizando el consumo de biomasa y aprovechando al máximo la aportación solar.
- Se puede observar la diferencia entre la interrupción controlada del suministro desde la caldera de biomasa (a)), y la parada accidental de dicha caldera, en este caso por agotamiento del combustible en el silo (b)).
- La gráfica e) representa el momento en el que se realiza la renovación parcial del agua del vaso, introduciendo agua a temperatura de la red. La reducción de temperatura en el vaso es considerable, por lo que arranca la caldera produciendo un pico de potencia que llega hasta los 140 kW, hasta estabilizarse en el entorno de los 120 kW.

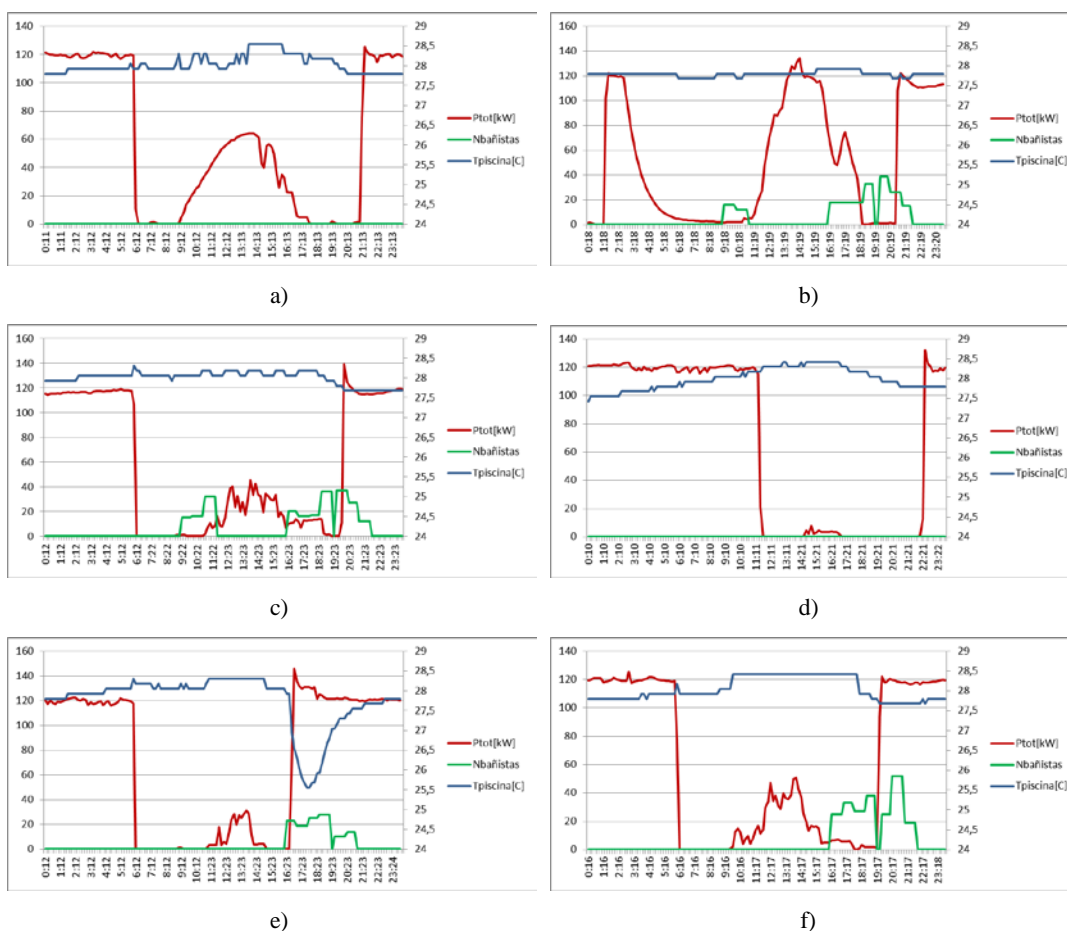


Figura 3: Curvas del comportamiento de la piscina.

## 5. Conclusiones

Como resultado de los trabajos realizados, se ha conseguido implementar un sistema avanzado de instrumentación y control que, con el análisis de los datos recogidos, permite una completa optimización de los recursos. Las principales conclusiones extraídas de la instalación son las siguientes:

- Se ha validado el valor de la potencia térmica demandada por el vaso de la piscina para satisfacer sus necesidades energéticas. Este valor ronda los 120 kW.
- Se da un paso adelante hacia las instalaciones soportadas únicamente con energías renovables. En efecto, el sistema implementado permite la incorporación de nuevas instalaciones, como podría ser una fotovoltaica que, funcionando en modo de balance neto, convertiría a la piscina municipal de Archena en 100% autosuficiente energéticamente mediante las energías renovables. Los sistemas de control convencionales no permiten este tipo de integración.
- Se dispone de una cantidad de información registrada con un total de 75 parámetros, lo que se traduce en 10.800 datos diarios. Toda esta información es de extraordinaria utilidad para validar los modelos existentes y futuros sobre el comportamiento energético de las piscinas.
- Se ha validado, para un periodo anual, el cálculo de la demanda energética propuesto por ASHRAE [2].
- Se abre una posibilidad a la reducción de costes en una instalación muy demandada por nuestros ciudadanos, pero muy intensiva en cuanto a la demanda de recursos energéticos y, por tanto, económicos.

## 6. Agradecimientos

Es necesario agradecer al Ayuntamiento de Archena por su incansable lucha en favor de la eficiencia energética de su instalación, así como por decidida apuesta por llevar a cabo esta instalación que tanto conocimiento podrá aportar a la ciencia.

## 7. Referencias

- [1] DELGADO MARIN, J.P. GARCÍA CASCALES, J.R. *Modelado dinámico de una piscina climatizada asistida con energía solar*. TFM – Repositorio Digital Universidad Politécnica de Cartagena.
- [2] VITI, A. *DTIE 1.02. Calentamiento de agua de piscinas*. ATECYR. 1996 (Ed. El Instalador)
- [3] TANG, R. ETZION, Y. *Comparative studies on the water evaporation rate from a wetted surface and that from a free water surface*. Building and Environment, 2004, vol. 39, pp. 77–86.
- [4] SHAH, M. Evaluation of available correlations for rate of evaporation from undisturbed water pools to quiet air. HVAC&R Research, 2002, Vol. 8, No. 1.
- [5] SHAH, M. *Prediction of evaporation from occupied indoor swimming pools*. Energy and Buildings, 2003, vol. 35, pp. 707–713.
- [6] SHAH, M. *Improved method for calculating evaporation from indoor water pools*. Energy and Buildings, 2012, vol. 49, pp. 306–309.
- [7] SHAH, M. *Calculation of Evaporation from Indoor Swimming Pools: Further Development of Formulas*. ASHRAE Annual Conference. ASHRAE Transactions, vol. 118, Part 2.
- [8] MOGHIMAN, M. JODAT, A. JAVADI, M. ZAHMATKESH, I. *Experimental investigation of water evaporation in indoor swimming pools*. Heat and Technology, 2007, Vol. 25, n. 2, pp. 43-46.