

### **3. APLICACIÓN PRÁCTICA: PROYECTO DE SUSTITUCIÓN DE UNA CALDERA DE GASOIL POR UN SISTEMA TÉRMODINÁMICO PARA CALENTAMIENTO DE AGUA DE UNA PISCINA**

#### **3.1 MEMORIA DESCRIPTIVA**

##### **3.1.1 Introducción**

El incremento de instalaciones lúdico-deportivas ha hecho que las necesidades de climatización de piscinas cubiertas se hayan incrementado de forma importante en nuestro país en los últimos años. Este tipo de instalaciones, por sus peculiares características y por el gran consumo de energía que conllevan, requieren de un estudio específico en las necesidades del recinto y de las posibles soluciones a adoptar.

Entre los posibles sistemas climatizadores de agua de piscina están los siguientes:

- Caldera de gasoil
- Caldera de gas
- Caldera de biomasa
- Calentadores eléctricos.
- Captadores solares térmicos
- Bombas de calor

Tanto la caldera de gas como la caldera de gas natural utilizan combustibles fósiles. Estos además de provocar elevadas emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases perjudiciales para la atmósfera, son fuentes de energía no renovables y su agotamiento se prevé en 40 años (dato variable según la fuente de información). La caldera de biomasa también obtiene un calor procedente de la quema de combustible y de la emisión de gases a la atmósfera.

Los calentadores térmicos solo se usan para piscinas muy pequeñas ya que su consumo es muy elevado y tiene el peor rendimiento de todos partiendo de la base de que la

energía eléctrica en España se obtiene principalmente a partir de la quema de combustibles con un rendimiento del 33%.

Los captadores solares térmicos es el método que menos consumo conlleva, solo el de las bombas necesarias para mover los fluidos. Es el método más ecológico pero se necesita un gran campo de captadores solares para cubrir una parte significativa de la demanda y su aportación en los meses de frío es muy limitada, en ocasiones nula.

Las bombas de calor son un método de alta eficiencia, pero no llega a ser del todo renovable ya que implican un consumo de energía eléctrica, aunque muy por debajo del consumo que tendrían los calentadores eléctricos. Las bombas de calor con ganancia solar se plantean como una alternativa con una buena relación ecología/precio.

### **3.1.2 Objeto y antecedentes**

El objeto del presente estudio es realizar el dimensionado básico, el cálculo de prestaciones energéticas y la descripción funcional de la instalación de aprovechamiento de energía solar termodinámica para el calentamiento del agua de la Piscina climatizada Municipal de Lucena.

Se pretende la instalación de un sistema de aprovechamiento de energía solar termodinámico para la climatización del agua de una piscina de manera que no sea necesario otro sistema de energía auxiliar para su funcionamiento normal quedando en serie con esta instalación el sistema de caldera de gasoil utilizado en la actualidad cuyo uso se prevé únicamente en caso de emergencia.

### **3.1.3 Alcance del proyecto**

El presente proyecto contempla el diseño y ejecución de la instalación de energía solar térmica para el calentamiento de los vasos de la piscina del recinto cuya propiedad es:

Nombre o razón social: Ayuntamiento de Lucena

Dirección: Plaza Nueva,1

La instalación será realizada por:

Nombre o razón social: Energy Panel, S.L.

Dirección: Ctra. Lucena-Loja Km. 1,7

La dirección técnica y el diseño estará a cargo de:

Nombre o razón social: Energy Panel, S.L.

Dirección: Ctra. Lucena-Loja Km. 1,7

### 3.1.4 Descripción de las instalaciones

Se trata de un recinto perteneciente al Patronato Deportivo Municipal, que cuenta con piscinas, gimnasio, sauna y spa. En una fase inicial se va a colocar una instalación para calentar el agua de la piscina, que es el objeto de este proyecto. Después de esta fase, se procederá al diseño y ejecución de una instalación para el agua caliente sanitaria, ACS, y para la climatización de los diferentes espacios del complejo deportivo usando también los paneles termodinámicos combinados con captadores térmicos convencionales.

La piscina cuenta con un vaso de competición **25x16,5 m** y cuya profundidad será de 1,8 m que es equivalente a 8 calles de entrenamiento en la que se pueden desarrollar todo tipo de competiciones deportivas. Además la piscina también cuenta con un vaso de enseñanza cuyas dimensiones son de **12,5x6 m** y cuya profundidad es de 1,2 m.

La superficie total de piscina a climatizar es de **487,5 m<sup>2</sup>** y el volumen total es de **832,5 m<sup>3</sup>**.

En la actualidad la instalación funciona con dos calderas de gasóleo:

- THERMOSTAHL EN 300 (300 KW).
- THERMOSTAHL EN 140 (140 KW).

Cuyos consumos es de 1060083 KWh. que a un precio del combustible medio de 0,057 €/KWh. supone 59984 € anuales aproximadamente.

Se diferencian dos tipos de acondicionamiento según su utilización en el recinto.

1.- Locales anexos de servicios: Dispondrán de ventilación forzada los siguientes locales:

- Vestuarios
- Servicios sanitarios
- Duchas.
- Recepción.

2.-Recinto de piscinas: Se cuenta con una instalación de un sistema de climatización con control ambiental de temperatura y humedad. La instalación está formada por las siguientes etapas:

- Toma de aire exterior.
- Filtración.
- Batería de calor.
- Batería de frío, (dentro de la deshumidificadora).
- Zona deshumectación.
- Ventilador.

La instalación cuenta con una distribución de aire mediante conductos de chapa galvanizada instalados en techo y dotados de toberas orientables y retorno del mismo a través de rejillas distribuidas en el lateral norte del recinto. Esta instalación se complementará con un sistema de deshumectación controlado por el mismo sistema, consiguiéndose así mantener los parámetros ambientales de consigna definidos como:

Temperatura recinto interior:  $30^{\circ}\text{C}\pm 1$ .

Humedad ambiente:  $65\%\pm 5\%$ .

Estos parámetros quedan definidos por normativa. Según RITE 10.2.1.2, la temperatura del aire debe de estar  $2^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura del agua. En este caso la temperatura del agua estará en torno a  $29^{\circ}\text{C}$ . La humedad del ambiente queda definida en entre ese intervalo.

## **Tratamiento del aire y del agua**

En el proyecto de climatización de una piscina cubierta debe tenerse en cuenta que las diferencias fundamentales con respecto a un sistema de climatización de un edificio residencial o comercial son, en primer lugar, que en el recinto hay una fuerte evaporación y, en segundo lugar, que los ocupantes tienen un grado de vestimenta muy bajo. Como consecuencia de ello la obtención de unas condiciones de confort adecuadas y el evitar condensaciones, que son los dos objetivos específicos de este tipo de instalaciones, pasa por:

1. La consecución de una temperatura y humedad ambientales adecuadas
2. El mantenimiento de la temperatura del agua del vaso de piscina
3. Garantizar el aire de ventilación mínimo higiénico
4. Evitar las corrientes de aire en la zona de ocupación y sobre la lámina de agua.
5. Evitar que se produzcan condensaciones en los distintos cerramientos como consecuencia de la alta humedad absoluta y relativa del aire ambiente interior.

En la ITE 10 del RITE se aconseja unos valores para la temperatura del aire ambiente, la del agua y la humedad ambiental como aparece en la Tabla 5, aunque dependiendo del uso de la piscina se puedan adoptar otros valores diferentes reflejados también en dicha tabla:

Parámetros	Valor
Temperatura del agua	25 °C
Temperatura del aire	27 °C
Humedad relativa	65%

**Tabla 5.** Condiciones de confort

Parámetros	Valor
Competición (*)	24 °C
Entrenamiento (*)	26 °C
Enseñanza y recreo (*)	25 °C
Disminuidos físicos	29 °C
Piscina infantil	30 °C
Niños de 3 a 6 años y tercera edad	32 °C
Mujeres embarazadas	30 - 32 °C

**Tabla 6.** Temperaturas del agua S/RITE 10.2.1.2

Como regla general se aconseja que la temperatura del aire se sitúe siempre dos o tres grados por encima de la del agua y la humedad relativa en torno al 65%, las razones son en primer lugar el confort, ya que se debe evitar en lo posible que los bañistas que salen mojados tengan sensación de frío, bien sea por una temperatura ambiente baja o bien por el calor cedido por el cuerpo en el proceso de evaporación del agua de la piel mojada, que es más rápida cuanto menor sea la humedad del ambiente. En segundo lugar, existe una relación directa entre el agua evaporada de la piscina y las condiciones de temperatura y humedad del aire ambiente.

Las necesidades del aire ambiente exigen mantener la calidad del mismo (renovación y filtrado), el calentamiento adecuado y un nivel de humedad dentro de los límites permitidos.

La distribución del aire debe ser tal que evite las temperaturas superficiales de los cerramientos inferiores al punto de rocío. En este caso la temperatura del ambiente queda definida en 30°C y la humedad relativa de 65%, por tanto la temperatura de rocío estará en torno a los 22,7°C. Se debe evitar que las superficies que componen el recinto estén por debajo de esta temperatura ya que provocaría la aparición de agua condensada. Las superficies más problemáticas para presentar condensaciones son las superficies acristaladas como pueden ser puertas o ventanas.

Se deben de evitar corrientes de aire sobre la lámina de agua para no potenciar el efecto de la evaporación.

Por las razones expuestas anteriormente, el aire caliente y seco se impulsa sobre los cerramientos exteriores de abajo a arriba. Además de la corriente dirigida hacia las cristalerías existe otra corriente de aire que va de arriba hacia abajo sin incidir en la lámina de agua.

En el interior del edificio se deben de evitar masas de aire estancado, de esta manera conseguimos evitar que se enfríen o que condensen. Para conseguir que el aire no se estanque se impone una tasa de circulación del aire de 4 a 8 veces el volumen del edificio.

Hay que resaltar que la temperatura que actualmente se mantiene en la piscina tiene un valor superior al recomendado por la normativa (Temperatura del vaso principal: 29°C y temperatura del vaso complementario: 30°C). El dimensionamiento del equipo se ha hecho en base a las temperaturas actuales de uso, no a las de la normativa, y así quedaría dimensionado en el caso más desfavorable. Pese que a las recomendaciones de la empresa instaladora es mantener una temperatura menor, la empresa explotadora ha decidido aumentar esa temperatura por cuenta propia debido a la queja de los usuarios.

La instalación cuenta con dos sistemas de recirculación independientes para cada uno de los vasos, en los cuales se introduce el proceso de filtración, control de acidez, calentamiento del agua y renovación del agua.

Esta instalación se realiza mediante sumideros de desagüe e impulsión colocados en el fondo de los vasos, situada en zona de servicio anexa a los vasos para garantizar su funcionamiento en carga y con acceso directo para servicios de mantenimiento y control de la misma.

### 3.1.5 Normativa de aplicación

#### Calentamiento de agua en piscinas climatizadas

Especificaciones recogidas en la norma **IT 1.1.4.3.2 del RITE 2007**:

- La temperatura del agua estará comprendida entre 24° y 30° según el uso principal de la piscina (se excluyen las piscinas de uso terapéutico). La temperatura del agua se medirá en el centro de la piscina y a unos 20 cm por debajo de la lámina de agua.
- La tolerancia en el espacio, horizontal y verticalmente, de la temperatura del agua no podrá ser mayor que **±1,5°C**.

Las prescripciones del **RITE** son resumidas a continuación:

- El uso de energías convencionales está permitido solo para el calentamiento de piscinas cubiertas.
- La temperatura de la pileta será según el uso de la piscina cubierta la siguiente:
  - Uso privado: 25 a 26 °C
  - Uso público:

Actividad	Temperatura
Recreo	23 °C
Chapoteo	24 °C
Enseñanza	25 °C
Entrenamiento	26 °C
Competición	24 °C

**Tabla 7.** Temperatura del agua recomendada según el uso.

- La temperatura seca del aire del local será entre 2° y 3° superior a la del agua con un mínimo de 26° y un máximo de 28° C.
- La humedad relativa se mantendrá entre el 55% y el 70%, siendo recomendable escoger el valor de diseño del 60%.

El cálculo de la potencia y demanda energética se ha hecho en base al DTIE 1.02: calentamiento de agua de piscinas. El DTIE, Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación, es una guía elaborada para ayudar a profesionales a realizar su trabajo de diseño y ejecución de sistemas e instalaciones de forma eficiente y actualizarlo. Esta guía ha sido elaborada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), entidad que agrupa más de 1.000 ingenieros y profesionales dedicados a los sectores de la Calefacción, Refrigeración, Ventilación y/o Aire Acondicionado.

### **Contribución solar mínima**

La contribución solar para el calentamiento de piscinas cubiertas está especificada en la norma IT 1.2.4.6.2. que se comenta a continuación:

- En las piscinas cubiertas una parte de las necesidades energéticas del calentamiento del agua se cubrirá mediante la incorporación de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar.
- Las instalaciones térmicas destinadas al calentamiento de piscinas cubiertas cumplirán con la exigencia fijada en la sección HE 4 “**Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria**” del Código Técnico de la Edificación.

Según se establece en el CTE en la sección de HE-4, en el caso de un edificio de nueva planta con demanda de ACS, las instalaciones de producción de ACS deberían de realizarse con la contribución solar mínima establecida en dicha normativa.

### **Ventilación**

Según la norma UNE 1000111, para mantener una calidad aceptable del aire en los locales previstos de instalaciones de ventilación y climatización, se deberán de establecer los criterios de que para el caso de piscinas deberá de haber un nivel de ventilación de 2,5 l/s por cada m<sup>2</sup>.

Según la normativa recogida en IT 1.2.5.2. se debe recuperar calor del aire que se desecha, como se indica en el apartado de la normativa

- En piscinas climatizadas, la energía térmica contenida en el aire expulsado deberá ser recuperada con una eficiencia mínima y unas pérdidas máximas de presión.

### **Ahorro de energía en piscinas**

Para cumplir la normativa de ahorro energético en las piscinas se debe de utilizar la siguiente norma IT 1.2.5.5.5 que se detalla a continuación:

- La lámina de agua de las piscinas climatizadas deberá estar protegida con barreras térmicas contra las pérdidas de calor del agua por evaporación durante el tiempo en que estén fuera de servicio.
- La distribución de calor para el calentamiento del agua y la climatización del ambiente de piscinas será independiente de otras instalaciones térmicas.

### **Valvulería**

Las válvulas se ajustarán en tipo, características, diámetro nominal (DN), presión nominal (PN) y presión de prueba a las adecuadas para un perfecto servicio en las condiciones de trabajo que se van a someter.

Para un diámetro igual o inferior a DN 50 y presión nominal igual o inferior a PN 16 Kg/cm<sup>2</sup> las válvulas serán roscadas. Para diámetro o presiones superiores serán de montaje con bridas.

Las válvulas para servicio de regulación se deberán poder bloquear en todas las posiciones y deberán llevar indicación de apertura. Las válvulas motorizadas deberán de estar provistas de un mecanismo de accionamiento manual así como un indicador de posición.

### **Aislamientos**

El aislamiento de las tuberías de agua caliente de calefacción se realizará con coquillas fabricadas con espuma elastomérica con un coeficiente de conductividad térmica de 0,04 W/m°C y resistencia al fuego M, el grueso de las cuales, expresado en mm, dependerá del diámetro nominal de la tubería y de la temperatura del fluido.

## Tuberías de acero cobre

La tubería utilizada en las instalaciones es de cobre fabricado según norma EN-12735, especial para instalaciones frigoríficas, con acabado espejo y deshidratado, calidad y grueso normalizados según normativa europea, y apta para fluidos refrigerantes.

### 3.2 MEMORIA DE CÁLCULO

En el presente documento se va a calcular las necesidades caloríficas para el calentamiento del agua de la piscina, suponiendo el ambiente exterior climatizado a una temperatura de 30° y con una humedad relativa del 65%.

Durante su funcionamiento, el agua de la piscina pierde calor debido a la evaporación y a la transmisión de calor hacia el ambiente y las paredes de la pileta.

Estas pérdidas son debidas a distintos fenómenos descritos a continuación.

#### 3.2.1. Pérdidas de calor por evaporación

En el proceso de evaporación del agua del vaso de la piscina se absorbe calor por lo que se produce un enfriamiento del resto del agua que no se evapora, es decir, disminuye la temperatura del agua del vaso. Por tanto, cuanto más evaporación exista más se enfriará el agua de la piscina y se tendrá que aportar más energía para mantener la temperatura de la misma. Para calcular las **pérdidas por evaporación de agua ( $P_{ev}$ )**, se utiliza la fórmula:

$$P_{ev} = \frac{\dot{m}}{1000} \cdot [r + 4,186(t_{wm} - t_{wa})]$$

Los datos necesarios para realizar el cálculo de las pérdidas por evaporación vienen indicados:

$\dot{m}$  = Masa evaporada, calculada según el método de Ashrae.

$r$  = Calor latente de evaporación del agua, función de la temperatura del agua

$t_{wm}$  = Temperatura media del agua de la pileta

Temperatura media del **vaso principal o vaso de competición**: 29 °C

Temperatura media del **vaso complementario o vaso de enseñanza**: 30 °C

$t_{wa}$  = Temperatura del agua de acometida media anual: 17 °C

Para hallar las pérdidas por evaporación es necesario haber calculado previamente la masa evaporada. El agua se evapora principalmente de tres fuentes: desde la lámina de agua, desde el suelo mojado alrededor de las piletas y desde el cuerpo de los bañistas:

- Masa evaporada desde la lámina de agua:

$$\dot{m}_w = \omega \cdot \frac{P_w - P_{ro}}{r_w} \cdot S_w$$

- Masa evaporada desde el suelo mojado alrededor de las piletas:

$$\dot{m}_s = \omega \cdot \frac{P_s - P_{ro}}{r_s} \cdot S_s$$

- Masa evaporada desde el cuerpo de las personas:

$$\dot{m}_p = \omega \cdot \frac{P_{35} - P_{ro}}{r_{35}} \cdot S_p$$

Donde:

$\omega$  es el coeficiente de velocidad del aire.

$p_w$ ,  $p_{35}$  y  $p_s$ : Son las presiones parciales del vapor a la temperatura de la superficie del agua, a la temperatura media del cuerpo humano (35°C) y a la temperatura del suelo de la playa, respectivamente. Unidad de medida: Pa.

$S_w$ ,  $S_p$  y  $S_s$ : Superficies del agua de la pileta, del cuerpo de las personas mojadas y del suelo mojado alrededor de la pileta respectivamente. Unidad de medida: m<sup>2</sup>.

$r_w$ ,  $r_p$  y  $r_s$ : Calor latente de vaporización del agua a la temperatura de la superficie del agua, del cuerpo de las personas mojadas y del suelo mojado alrededor de la pileta, respectivamente. Unidad de medida: Kj/Kg.

$P_{ro}$ : Presión parcial del vapor de agua a la temperatura de rocío del aire ambiente, (Pa).

El coeficiente de velocidad del aire  $\omega$  se calcula según la fórmula:

$$\omega = \frac{88,75 + 78,15 \cdot V}{1000}$$

V es la velocidad del aire sobre el agua de la pileta, las personas y el suelo mojado alrededor de la pileta. Unidad de medida: m/s.

La cantidad de masa evaporada es función de la ocupación que tenga la piscina. Según el DTIE 1.02, documentos técnicos de instalaciones en la edificación, el número de personas del recinto se puede calcular según la superficie de lámina de agua:

$$N = 0,05 \cdot S_w$$

N = número de personas

$S_w$  = Superficie de la piscina

La superficie del vaso de competición es **412,5 m<sup>2</sup>**

La superficie del vaso de enseñanza es **75 m<sup>2</sup>**

Según esto se tiene una ocupación total, sumando las superficies de los dos vasos, de 20 personas para el vaso de competición y 4 personas para el vaso de enseñanza. Teniendo en cuenta que la ocupación diaria de la piscina es entre 200 y 300 personas y que el horario de apertura es de 9:00 a 22:00 horas se puede hallar una aproximación del tiempo que permanecen las personas en el recinto, que sería 52 minutos. Este tiempo de ocupación es mayor del que realmente está comprobado, (en torno a 40 minutos). Esta diferencia se debe principalmente a que la hipótesis de que el número de personas es un 5% de la superficie de la lámina de agua da como resultado un número de personas mayor al que existe en la realidad.

Puesto que el aforo de la piscina puede sufrir un aumento de personas con respecto a las que hay en la actualidad se ha tomado la hipótesis de cálculo más restrictiva, es decir, el número de personas derivado de la fórmula de la norma, 24 personas: 20 personas para el vaso de competición y 4 para el vaso de enseñanza.

Los resultados de masa evaporada durante las horas de funcionamiento del día aparecen en la siguiente tabla:

Masa evaporada	Desde el agua (kg/h)	Desde las personas (kg/h)	Desde el suelo (kg/h)
Vaso			
De competición	69,30	16,49	5,11
De enseñanza	13,39	3,10	2,81
<b>Total vasos</b>	<b>82,69</b>	<b>19,58</b>	<b>7,92</b>

**Tabla 8.** Masa de agua evaporada hacia el ambiente.

La masa evaporada total en una hora es de **110,2 Kg**.

Una vez hallada la masa evaporada, se puede calcular las pérdidas por evaporación. Estas varían según la temperatura del agua de acometida, por lo que se han calculado en base a la media anual:

- Pérdidas por evaporación en el vaso principal: 62,6 KW
- Pérdidas por evaporación el vaso complementario: 13,3 KW

### 3.2.2. Pérdidas de calor por radiación

Para calcular las **pérdidas por radiación de la superficie de la lámina de agua hacia los cerramientos del recinto ( $P_{rd}$ )** se usa la fórmula de Stefan-Boltzmann donde las pérdidas por radiación están en función de la diferencia entre la temperatura radiante media y la del agua, elevadas ambas a la cuarta potencia y expresadas en grados Kelvin ( $K=^{\circ}C+273$ ).

$$P_{rd} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \left[ \left( \frac{t_{ws} + 273,15}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{RM} + 273,15}{100} \right)^4 \right] \cdot S_w$$

$S$  = constante de Stefan-Boltzmann =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$\varepsilon$  = emisividad del agua = 0.95

$t_{ws}$  = Temperatura del agua de la superficie (K)

Temperatura superficie del **vaso principal**: 29 °C

Temperatura superficie del **vaso complementario**: 30 °C

$T_{rm}$  = Temperatura superficial de los cerramientos (K) = 23

$S_w$  = Superficie de los vasos de las piscinas (Ya definidas)

En el caso de piscinas cubiertas los cerramientos deben encontrarse a muy pocos grados de temperatura por debajo, dependiendo del tipo de cerramiento y coeficiente de transmisión de calor, de la del aire ambiente, y por tanto a muy poca diferencia con la del agua. Las pérdidas por radiación en piscinas cubiertas representan entre el 15% y el 20% de las pérdidas totales.

Las pérdidas por radiación obtenidas son:

- Pérdidas por radiación en el vaso principal: 13 KW
- Pérdidas por radiación el vaso complementario: 2,8 KW

### 3.2.3. Pérdidas de calor por convección

Las pérdidas por convección en el caso de piscinas cubiertas son prácticamente despreciables. Éstas tienen un signo negativo, es decir son ganancias, debido a que la temperatura de bulbo seco del aire ambiente es mayor que la temperatura de la superficie del agua, por tanto el agua de la piscina “roba” calor por convección del aire ambiente. Además son muy pequeñas comparadas con las pérdidas por evaporación y por radiación, máximo un 1,2% de las pérdidas totales. Las **pérdidas por convección de la lámina de agua hacia el aire del ambiente ( $P_{cv}$ )** se calculan como:

$$P_{cv} = 0,003181 \cdot V^{0,8} \cdot (t_{ws} - t_{BS}) \cdot S_w$$

$V$  = Velocidad del aire en la superficie de la piscina = 0,2 m/s

$t_{ws}$  = Temperatura del agua de la superficie (ya definido)

$t_{BS}$  = Temperatura de bulbo seco del aire ambiente

$S_w$  = Superficie de los vasos de las piscinas (Ya definidas)

Las pérdidas por convección obtenidas son:

- Pérdidas por convección en el vaso principal: -0,9 KW
- Pérdidas por convección el vaso complementario: -0,13 KW

### 3.2.4. Pérdidas de calor por conducción

Las pérdidas por conducción dependerán de las características constructivas del vaso (enterrado, visto, etc.) y del coeficiente de transmisión térmica del material empleado. En este caso se trata de un vaso de hormigón construido dentro del propio sótano del recinto. Las **pérdidas por conducción** de las paredes de la pileta eventualmente en contacto con el aire ( **$P_{cd}$** ), vendrían expresadas por:

$$P_{cd} = k \cdot \frac{t_{wm} - t_{BS}}{1000} \cdot S_p$$

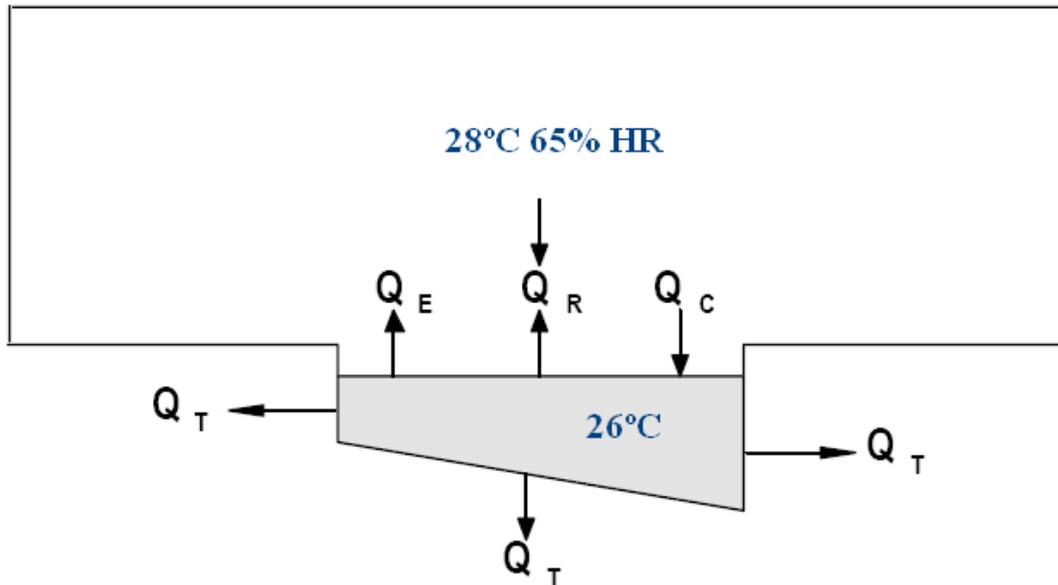
$K$ : coeficiente de conductividad del material (W/m<sup>2</sup>K)

$S$ : Superficie de las paredes de la pileta en contacto con aire (m<sup>2</sup>)

$t_{wm}-t_{BS}$ : Diferencia de temperatura (°C).

Las pérdidas por conducción obtenidas son:

- Pérdidas por conducción en el vaso principal: **13 KW**
- Pérdidas por conducción el vaso complementario: **2,8 KW**



**Ilustración 26.** Esquema pérdidas de calor del agua de la piscina

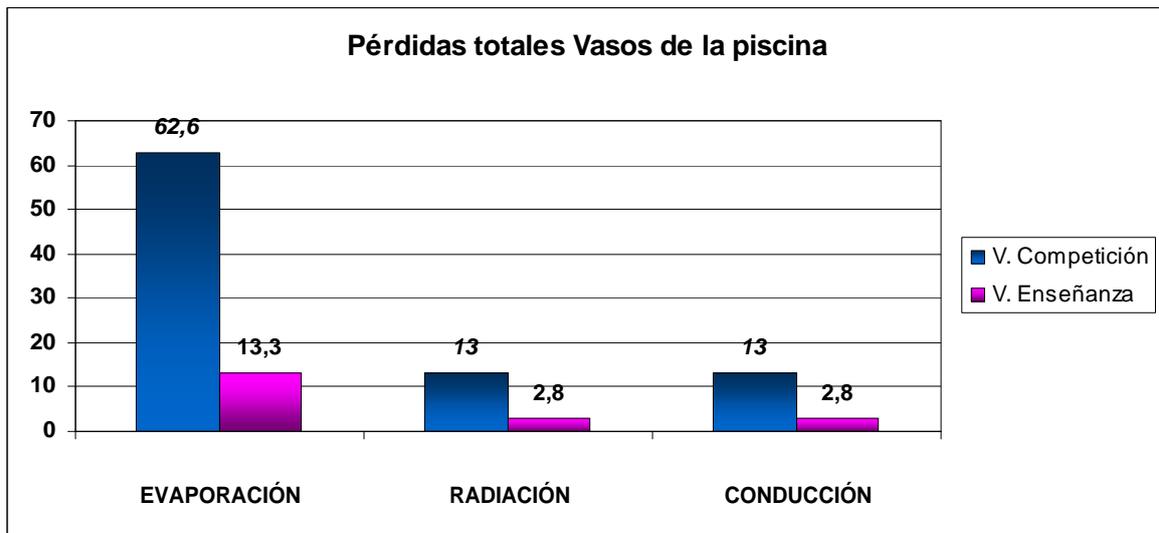
Las pérdidas por conducción son muy variables a lo largo del año ya que dependen de la temperatura del aire en contacto con las paredes de la pileta que a su vez es muy variable.

### 3.2.5. Pérdidas totales

La potencia total necesaria para suplir las pérdidas indicadas será:

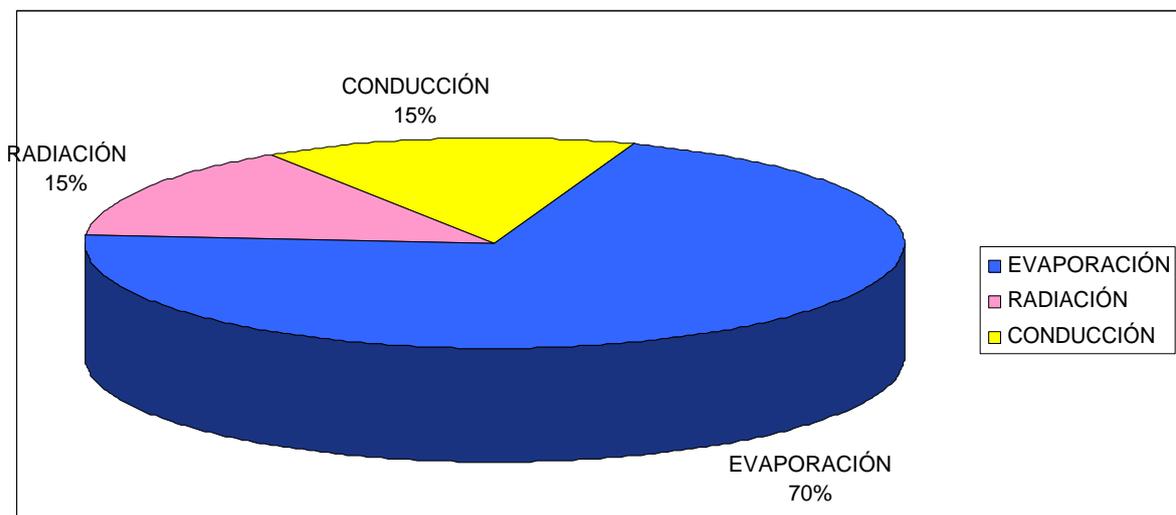
$$P = P_{ev} + P_{cv} + P_{rd} + P_{cd}$$

- Pérdidas totales en el vaso principal: **89 KW**
- Pérdidas totales el vaso complementario: **19 KW**



**Ilustración 27.** Potencia necesaria (kW) para cubrir las pérdidas totales

Debido al valor negativo de las pérdidas por convección, se desprecian y no se tienen en cuenta. La porción sobre el total de cada una de las pérdidas queda representada en el siguiente gráfico:



**Ilustración 28.** Porción de pérdidas producidas por el vaso de la piscina

Se puede comprobar que estas pérdidas están dentro de los márgenes propuestos por el DTIE 1.02 que indica:

- Las pérdidas por evaporación representan entre el 70 y el 80% de las pérdidas totales. En este caso su valor es del 70%.
- Las pérdidas por radiación representan entre el 15 y el 20% de las pérdidas totales. En este caso su valor es del 15%.
- Las pérdidas totales son prácticamente superficiales a la superficie de la lámina y pueden expresarse en función de la temperatura superficial del agua con el siguiente polinomio.

$$P = \left[ 130 - 3 \cdot t_{ws} + 0,2 \cdot t_{ws}^2 \right] \cdot \frac{S_w}{1000}$$

El resultado de la aplicación de esta fórmula para los dos vasos y la comparación con el resultado obtenido siguiendo todo el procedimiento se muestran a continuación:

VASO	Potencia simplificada (KW)	Potencia normal (KW)	Error %
Principal	103,9	89	14,7
Complementario	16,5	19	-14,5

**Tabla 9.** Comparación pérdidas calculadas por la fórmula aproximativa y las calculadas por el procedimiento largo.

Donde,

**Potencia simplificada**, es la potencia calculada utilizando la ecuación anterior.

**Potencia normal**, es la potencia total obtenidas de la suma del cálculo individual de las potencias de evaporación, radiación, convección y conducción.

**Error**, diferencia porcentual entre la potencia simplificada y la potencia normal.

Se observa que el resultado tiene una variación del  $\pm 15\%$ , lo cual es admisible para hacer una estimación pero no es recomendable tomar el valor derivado del cálculo simplificado para un diseño definitivo.

La potencia total de mantenimiento es **108 KW**, luego el equipo instalado tiene que aportar como mínimo esta potencia térmica.

A las pérdidas antes indicadas no se les añade las pérdidas de agua debidas a la renovación por la limpieza del fondo de los filtros, ya que estas operaciones, usualmente, se efectuarán durante el horario de cierre de la piscina. La potencia necesaria será en parte compensada por la falta de las pérdidas por arrastre y salpicaduras.

### 3.2.6. Pérdidas de calor por renovación

En una piscina cubierta existen pérdidas continuas de agua, desde la evaporada a la que los propios bañistas arrastran del vaso del agua, o la gastada en la limpieza de fondos y filtros. Sin embargo, estas cantidades son muy inferiores al 5% del volumen total del vaso impuesto obligatoriamente por normativa NIDE, debido a razones higiénicas sanitarias, debe reponerse diariamente. Esta renovación, conlleva que las pérdidas de calor por este concepto sean importantes, y en todo caso dependerán de la temperatura del agua de la red y de la temperatura del agua de la piscina que se pretenda alcanzar. Estas pérdidas se calculan utilizando la siguiente fórmula:

$$P_{\text{renovación}} = V_{\text{renov}} \cdot \rho_{\text{ag}} \cdot C_{\text{ag}} \cdot [T_{\text{ag}} - T_{\text{red}}] \cdot \frac{1}{24}$$

$V_{\text{renov}}$  = Volumen de agua de renovación ( $\text{m}^3$ ) (**5% volumen del vaso**)

5% Volumen de la piscina principal: **37,1  $\text{m}^3$**

5% Volumen de la piscina complementaria: **4,5  $\text{m}^3$**

$\rho$  = Densidad del agua= **1000  $\text{kg}/\text{m}^3$**

$C_{\text{ag}}$  = Calor específico del agua=**1,16 (wh/kg°C)**

$T_{\text{ag}}$  = Temperatura del agua de la piscina (ya definido)

$C_{\text{red}}$  =Temperatura del agua de la red (**17 °C**)

**(1/24):** Para pasar las pérdidas por renovación de las unidades de **wh/día** a **w**.

Por tanto, las pérdidas por **RENOVACIÓN** (diarias) son:

Pérdidas por **renovación** en el **vaso principal: 21,53 KW**

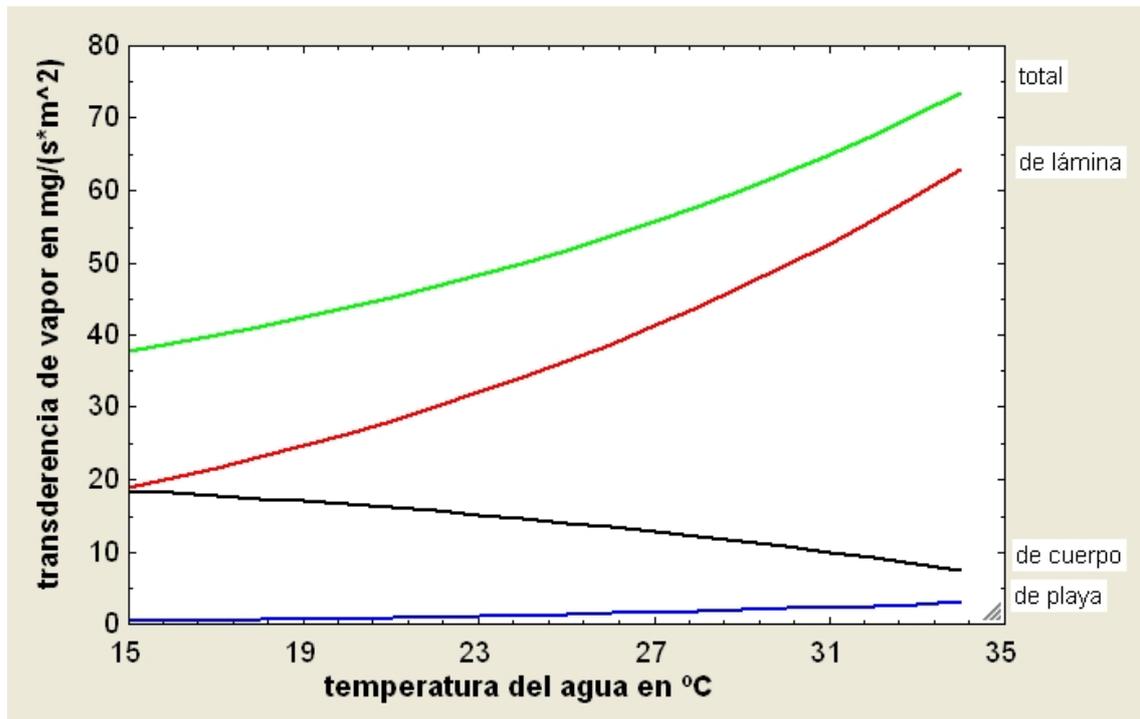
Pérdidas por **renovación** en el **vaso complementario: 2,8 KW**

La potencia de renovación total es de: **24,3 kW**.

### **3.2.7. Pérdidas vapor de agua**

El agua de las piscinas se evapora al aire ambiente desde las siguientes superficies:

1. De la lámina de agua. Esta será mayor cuanto mayor sea el número de bañistas debido a la mayor interacción entre el agua y el aire por la creación de un flujo turbulento como consecuencia del chapoteo.
2. Del suelo mojado alrededor de la piscina.
3. Del cuerpo de las personas recién salidas del agua (evaporación y arrastre). La transferencia de masa de vapor de agua al aire del ambiente se puede calcular por procedimientos diferentes. Se elige el método de ASHRAE por razones de sencillez y seguridad.



**Ilustración 29.** Transferencia de vapor en la piscina.

En la Ilustración 29 aparece representado la transferencia de vapor al ambiente en función de la temperatura del agua de la piscina. Se observa que a mayor temperatura del agua mayor será la transferencia. La mayor transferencia se hace directamente desde la lámina de agua.

### 3.2.8. Potencia necesaria puesta a régimen

Cuando haya que llenar el vaso de la piscina completamente con agua de red, la potencia calorífica necesaria es superior a la de mantenimiento. Para determinarla se tiene que aplicar la siguiente fórmula.

$$P_{PR} = V \cdot \rho_{ag} \cdot C_{ag} \cdot \frac{[T_{ag} - T_w]}{T}$$

y considerando las siguientes hipótesis de cálculo:

$V$  = volumen de agua de la piscina

Vaso principal: 742,5 m<sup>3</sup>

Vaso complementario: 90 m<sup>3</sup>

$\rho_{ag}$  = densidad del agua (1000 kg / m<sup>3</sup>)

$C_e$  = calor específico del agua (1,16 w-h / kg °C)

$T_w$  = temperatura agua piscina. Se ha supuesto 26°C

$T_{ag}$  = temperatura llenado red (17°C)

$T$  = tiempo de puesta en régimen.

En la siguiente tabla aparece la potencia térmica necesaria según el número de horas de puesta a régimen:

POTENCIA PUESTA A RÉGIMEN A 26°C KW			
	24 horas	48 horas	72 horas
Vaso principal	323	161,5	107
Vaso complementario	39,2	19,6	13,05
TOTAL	362,2	181,1	120,05

**Tabla 10.** Potencia necesaria para la puesta a régimen en varios periodos de tiempo

La potencia necesaria para puesta a régimen en 72 horas es 120 KW que es mayor que la de mantenimiento (108 KW). Para poder llenar piscina a una temperatura de 26°C con la potencia de mantenimiento sería necesario un tiempo de 80,5 horas. Este tiempo puede variar en función de la época del año, ya que el equipo varía su eficiencia y por tanto la potencia térmica es variable. Se recomienda llenar la piscina en los meses de verano para disminuir el tiempo de llenado y también el consumo energético durante este.

Hay que tener en cuenta que mientras se está calentando el agua de la piscina también se están produciendo pérdidas que dependerán fundamentalmente de las condiciones del aire ambiente interior y en función del sistema de climatización elegido, se podría alargar el tiempo de la puesta a régimen previsto inicialmente.

Finalmente se considera un tiempo de puesta a régimen 72 horas, de manera que la potencia necesaria para la puesta a régimen sea similar a la potencia necesaria de funcionamiento. En caso de necesitar reducir el tiempo de puesta a régimen se puede poner en marcha la caldera de gasóleo que salvo para estos apoyos solo funcionara para

emergencias (rotura o mantenimiento del sistema propuesto, etc.). De esta manera se evita usar aparatos de mayor potencia de la necesaria.

### **3.2.9. Pérdidas de calor al ambiente**

La evaporación en la lámina de agua será tanto mayor cuanto mayor sea la ocupación de la piscina, debido a la mayor interacción entre agua y aire que se crea como consecuencia del chapoteo. De la misma forma que una elevada velocidad de aire sobre la lámina favorecerá también el fenómeno de la evaporación. Es por eso que siempre se evita que haya corrientes de aire dirigidas hacia la lámina del agua ya que estas acelerarían la evaporación.

Por otro lado, las playas mojadas son elementos que aumentan la evaporación de agua así como el agua que los bañistas se llevan sobre la piel al salir del vaso.

Existen dos factores más que suponen un aporte de humedad extra al ambiente y que como tales hay que tener en cuenta a la hora de calcular el incremento de humedad absoluta. Estos factores son la carga latente (considerada en cualquier cálculo de climatización) de los propios bañistas y la del público en general, que en piscinas de competición, por ejemplo, pueden llegar a ser un factor importante si la ocupación de las gradas es elevada. Y por último, el aire exterior de ventilación, que en algunos casos puede tener más humedad absoluta que el aire ambiente interior, y como consecuencia suponer un aumento en la humedad ambiental, aunque en la mayoría de los casos, el aire ambiente es el que ayuda a deshumectar el ambiente de la piscina.

Las pérdidas de calor del recinto no se van a calcular ya que se va a mantener el sistema actualmente usado en esta primera fase, proveyéndose su sustitución en una segunda fase la cual no es el objeto de este proyecto.

### 3.2.10. Cálculo del consumo energético anual

Una vez calculada la potencia necesaria para el funcionamiento del sistema se procede a calcular el gasto energético anual de la piscina. El consumo anual es necesario para comprobar si el dato de potencia calorífica necesaria obtenido anteriormente es correcto y para hallar la demanda energética anual. Para los cálculos se ha tomado un **día típico** de cada mes y se ha hallado las pérdidas que de cada uno de los meses. Las pérdidas por convección se han despreciado debido a que representan un valor muy pequeño y de signo variable.

#### Pérdidas de calor por evaporación

En las siguientes tablas se recogen las pérdidas por evaporación en los dos vasos de las piscinas durante todo el año:

<b>PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN PISCINA PRINCIPAL (Día típico)</b>			
<b>MES</b>	<b>ÍNDICE DE OCUPACIÓN</b>	<b>Nº NADADORES</b>	<b>PÉRDIDAS</b>
ENE	100%	20	62,58 KW
FEB	90%	18	61,44 KW
MAR	80%	16	60,31 KW
ABR	60%	12	58,03 KW
MAY	50%	10	56,90 KW
JUN	50%	10	56,90 KW
JUL	50%	10	56,90 KW
AGO	50%	10	56,90 KW
SEP	80%	16	60,31 KW
OCT	80%	16	60,31 KW
NOV	90%	18	61,44 KW
DIC	100%	20	62,58 KW

**Tabla 11.** Pérdidas por evaporación típicas mensuales de la piscina principal.

PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN PISCINA COMPLEMENTARIA (Día típico)			
MES	ÍNDICE DE OCUPACIÓN	Nº NADADORES	PÉRDIDAS
ENE	100%	4	13,29 KW
FEB	90%	4	13,29 KW
MAR	90%	4	13,29 KW
ABR	60%	2	12,22 KW
MAY	50%	2	12,22 KW
JUN	50%	2	12,22 KW
JUL	50%	2	12,22 KW
AGO	50%	2	12,22 KW
SEP	90%	4	13,29 KW
OCT	90%	4	13,29 KW
NOV	90%	4	13,29 KW
DIC	100%	4	13,29 KW

**Tabla 12.** Pérdidas por evaporación típicas mensuales de la piscina complementaria.

Las pérdidas por **evaporación** en ambas piscinas cuando el índice de ocupación es del 0% serán:

Pérdidas por evaporación sin ocupación piscina de competición: **4,05 KW**

Pérdidas por evaporación sin ocupación piscina pequeña: **0,73 KW**

El análisis realizado es un día típico, durante las horas de funcionamiento. Para analizar el gasto energético durante un día completo se ha de tener en cuenta tanto las horas con ocupación como las horas que el recinto está cerrado para el público. El horario de la piscina municipal es de 10:00 de la mañana hasta las 22:00.

ENERGÍA DIARIA CONSUMIDA PISCINA PRINCIPAL					
MES	H DE OCUPACIÓN	POT OCUPACIÓN	H SIN OCUPACIÓN	POT SIN OCUPACIÓN	ENERGÍA TOTAL DÍA
ENE	12	62,58 kW	12	4,05 KW	799,56 kWh
FEB	12	61,44 KW	12	4,05 KW	785,88 kWh
MAR	12	60,31 KW	12	4,05 KW	772,32 kWh
ABR	12	58,03 KW	12	4,05 KW	744,96 kWh
MAY	12	56,90 KW	12	4,05 KW	731,4 kWh
JUN	12	56,90 KW	12	4,05 KW	731,4 kWh
JUL	12	56,90 KW	12	4,05 KW	731,4 kWh
AGO	12	56,90 KW	12	4,05 KW	731,4 kWh
SEP	12	60,31 KW	12	4,05 KW	772,32 kWh
OCT	12	60,31 KW	12	4,05 KW	772,32 kWh
NOV	12	61,44 KW	12	4,05 KW	785,88 kWh
DIC	12	62,58 KW	12	4,05 KW	799,56 kWh

**Tabla 13.** Energía diaria consumida piscina principal debido a las pérdidas por evaporación en la piscina principal.

ENERGÍA DIARIA CONSUMIDA PISCINA COMPLEMENTARIA					
MES	H DE OCUPACIÓN	POT OCUPACIÓN	H SIN OCUPACIÓN	POT SIN OCUPACIÓN	ENERGIA TOTAL DIA
ENE	12	13,29 KW	12	0,73 KW	168,28 KWh
FEB	12	13,29 KW	12	0,73 KW	168,28 KWh
MAR	12	13,29 KW	12	0,73 KW	168,28 KWh
ABR	12	12,22 KW	12	0,73 KW	155,44 KWh
MAY	12	12,22 KW	12	0,73 KW	155,44 KWh
JUN	12	12,22 KW	12	0,73 KW	155,44 KWh
JUL	12	12,22 KW	12	0,73 KW	155,44 KWh
AGO	12	12,22 KW	12	0,73 KW	155,44 KWh
SEP	12	13,29 KW	12	0,73 KW	168,28 KWh
OCT	12	13,29 KW	12	0,73 KW	168,28 KWh
NOV	12	13,29 KW	12	0,73 KW	168,28 KWh
DIC	12	13,29 KW	12	0,73 KW	168,28 KWh

**Tabla 14.** Energía diaria consumida debida a las pérdidas por evaporación en la piscina complementaria.

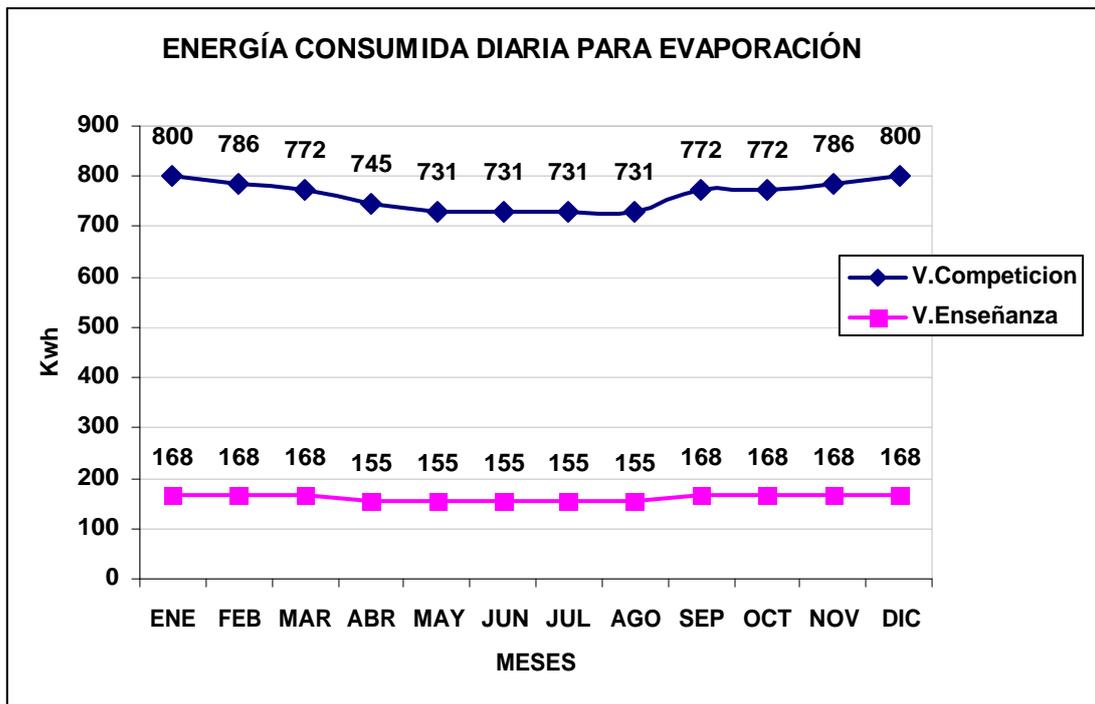
Teniendo en cuenta los días que tiene cada mes se obtiene la **energía anual** necesaria para reponer las pérdidas por evaporación:

Pérdidas por evaporación piscina principal: **278.518 KWh**

Pérdidas por evaporación piscina complementaria: **59.458 KWh**

Pérdidas por evaporación total: **337.976 KWh**

En la siguiente gráfica se recogen las pérdidas existentes por evaporación en ambas piscinas. Se observa que los meses donde mayores son las pérdidas por evaporación son los meses de diciembre y enero, debido a que son los meses de mayor afluencia de bañistas a un recinto de estas características, mientras que los meses que presentan menores pérdidas por evaporación son los meses de verano porque el número de bañistas es menor que en otros meses.



**Ilustración 30.** Evolución de la energía consumida diaria para cubrir las pérdidas por evaporación.

### Pérdidas de calor por radiación

Las pérdidas por radiación son función de la temperatura de los cerramientos que está afectada por la forma de impulsión del aire. Si la impulsión esta proyectada sobre los cerramientos la temperatura de estos será mayor, mientras que si la impulsión es sobre cualquier otra zona, los cerramientos tendrán una temperatura más baja.

En este caso la impulsión se realiza en dos zonas: Parte del aire caliente impulsado se proyecta sobre los cerramientos (las cristaleras) desde abajo hacia arriba y el resto del aire se impulsa desde arriba por la zona de las gradas.

La temperatura exterior del ambiente varía a lo largo del año pero la influencia de esta variación en la temperatura interior de los cerramientos se puede despreciar ya que al ser la impulsión sobre los propios cerramientos conservan una temperatura prácticamente constante a lo largo del año. Las pérdidas a través de los cerramientos si varían a lo largo del año y dependen de las condiciones climatológicas externas, pero para calcular las pérdidas por radiación del agua a los cerramientos se toma la suposición indicada en la

norma de que la temperatura de los cerramientos está aproximadamente 6°C por debajo de la temperatura superficial del agua. En este caso la temperatura superficial de los cerramientos sería 23°C durante todo el año.

Las pérdidas por radiación diarias serían constantes a lo largo del año ya que todos los parámetros se conservan.

PÉRDIDAS POR RADIACIÓN DIARIAS			
MES	Piscina principal	Piscina complementaria	Total
ENE	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW
FEB	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW
MAR	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW
ABR	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW
MAY	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW
JUN	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW
JUL	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW
AGO	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW
SEP	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW
OCT	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW
NOV	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW
DIC	13,00 KW	2,80 KW	15,80 KW

**Tabla 15.** Potencia necesaria para cubrir las pérdidas por radiación diarias en los vasos principal y complementario.

La energía anual necesaria para reponer las pérdidas por radiación serían:

Pérdidas por radiación piscina principal: **56.940 KWh**

Pérdidas por radiación piscina complementaria: **12.264 KWh**

Pérdidas por radiación totales: **69.204 KWh**

## Pérdidas de calor por conducción

Las pérdidas por transmisión o conducción de los vasos de ambas piscinas se recogen en la siguiente tabla:

PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN DIARIAS				
MES	TEMP MEDIA EXTERIOR CERRAMIENTOS	POT VASO DE COMPETICIÓN	POTENCIA VASO ENSEÑANZA	POTENCIA TOTAL
ENE	13	13,91 KW	3,15 KW	17,057 KW
FEB	14	12,98 KW	2,96 KW	15,935 KW
MAR	16	11,13 KW	2,56 KW	13,686 KW
ABR	18	9,27 KW	2,17 KW	11,437 KW
MAY	21	6,49 KW	1,58 KW	8,066 KW
JUN	24	3,71 KW	0,99 KW	4,6935 KW
JUL	28	0,00 KW	0,00 KW	0 KW
AGO	28	0,00 KW	0,00 KW	0 KW
SEP	24	3,71 KW	0,99 KW	4,6935 KW
OCT	21	6,49 KW	1,58 KW	8,066 KW
NOV	17	10,20 KW	2,36 KW	12,564 KW
DIC	14	12,98 KW	2,96 KW	15,935 KW

**Tabla 16.** Potencia necesaria para cubrir las pérdidas por conducción diarias de los vasos principal y complementario.

La temperatura media exterior de los cerramientos han sido calculadas a partir de las temperaturas medias anuales proporcionadas por la base de datos de la Agencia Estatal de la Meteorología, AEMET. Para calcular el consumo anual se tiene en cuenta que las pérdidas por conducción se dan durante las 24 horas del día todos los días del año.

En resumen las pérdidas por conducción anuales obtenidas en ambas piscinas serán las siguientes:

Pérdidas por conducción piscina principal: **66.017 KWh**

Pérdidas por conducción piscina complementaria: **15.460 KWh**

Pérdidas por conducción totales: **81.478 KWh**

En la siguiente gráfica se representan las pérdidas por conducción a lo largo del año. Los meses que mayor pérdida por transmisión presentan son los meses de diciembre y enero debido a que durante estos meses la temperatura de los cerramientos es muy baja (temperatura aproximada de 14 °C), teniendo en cuenta que el sótano está protegido del

ambiente exterior, mientras que en el mes que menor son las pérdidas de transmisión es el mes de julio y agosto debido a una mayor temperatura de los cerramientos.

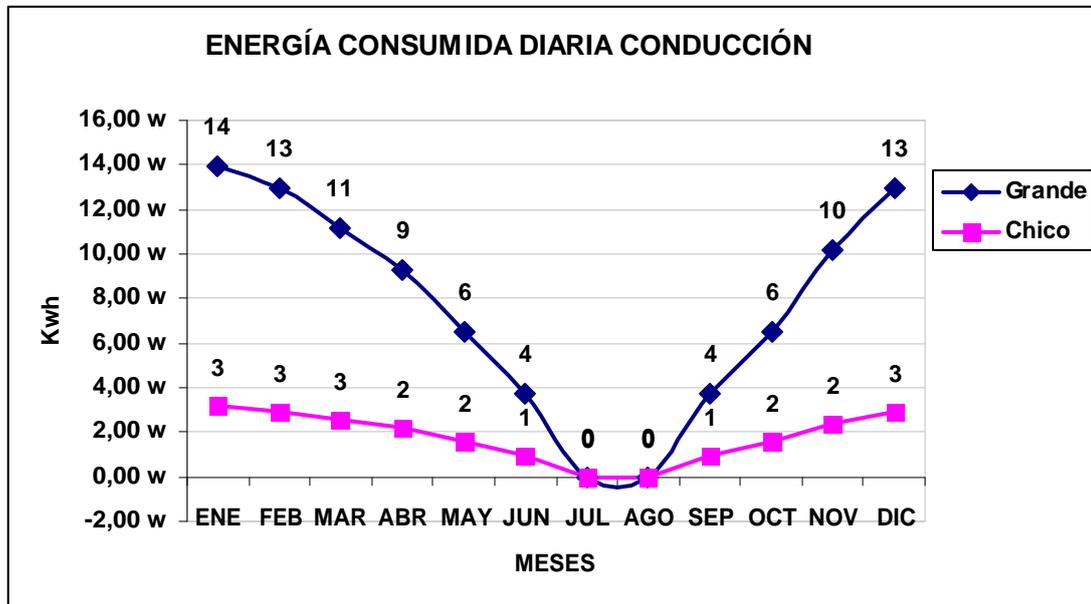


Ilustración 31. Evolución de la energía diaria consumida para cubrir las pérdidas por conducción.

### Pérdidas de calor por renovación

Para calcular las pérdidas por renovación se usa la fórmula:

$$P_{\text{renovación}} = V_{\text{renov}} \cdot \rho_{\text{ag}} \cdot C_{\text{ag}} \cdot [T_{\text{ag}} - T_{\text{red}}] \cdot \frac{1}{24}$$

$V_{\text{renov}}$  = Volumen de agua de renovación ( $\text{m}^3$ ) (**1% volumen del vaso**)(\*)

5% Volumen de la piscina principal: **7,4  $\text{m}^3$**

5% Volumen de la piscina complementaria: **0,9  $\text{m}^3$**

$\rho$  = Densidad del agua= **1.000  $\text{kg}/\text{m}^3$**

$C_{\text{ag}}$  = Calor específico del agua=**1,16 (wh/kg°C)**

$T_{\text{ag}}$  = Temperatura del agua de la piscina, **26°C** en el caso de renovación.

$C_{\text{red}}$  =Temperatura del agua de la red (**17 °C**)

**(1/24)**: Para pasar las pérdidas por renovación de las unidades de **wh/día** a **w**

(\*) En la norma el volumen de renovación diaria es un 5% del volumen total de agua de las piscinas. Sin embargo en la realidad no renuevan dicho volumen, por lo que para el consumo energético real se ha estimado que el volumen de renovación es un 1% del total.

En las siguientes tablas se recogen las pérdidas por renovación que existen en los dos vasos de la piscina:

<b>PÉRDIDAS POR RENOVACIÓN DIARIAS</b>				
<b>MES</b>	<b>TEMP AGUA DE RED</b>	<b>POT VASO DE COMPETICIÓN</b>	<b>POTENCIA VASO ENSEÑANZA</b>	<b>POTENCIA TOTAL</b>
ENE	12	6,10 KW	0,78 KW	6,88 KW
FEB	13	5,74 KW	0,74 KW	6,48 KW
MAR	14	5,38 KW	0,70 KW	6,08 KW
ABR	16	4,67 KW	0,61 KW	5,28 KW
MAY	18	3,95 KW	0,52 KW	4,47 KW
JUN	20	3,23 KW	0,44 KW	3,67 KW
JUL	22	2,51 KW	0,35 KW	2,86 KW
AGO	22	2,51 KW	0,35 KW	2,86 KW
SEP	20	3,23 KW	0,44 KW	3,67 KW
OCT	17	4,31 KW	0,57 KW	4,87 KW
NOV	15	5,02 KW	0,65 KW	5,68 KW
DIC	13	5,74 KW	0,74 KW	6,48 KW

**Tabla 17.** Potencia necesaria para cubrir las pérdidas por reovación diarias en los vasos principal y complementario.

En resumen las pérdidas por renovación obtenidas en ambas piscinas serán las siguientes:

<b>ENERGÍA POR RENOVACIÓN ANUALES</b>			
<b>MES</b>	<b>POTENCIA TOTAL DIARIA</b>	<b>NÚMERO DÍAS MES</b>	<b>ENERGÍA TOTAL MENSUAL</b>
ENE	6,88 KW	31	5.120,95 KWh
FEB	6,48 KW	28	4.355,64 KWh
MAR	6,08 KW	31	4.523,52 KWh
ABR	5,28 KW	30	3.798,00 KWh
MAY	4,47 KW	31	3.325,68 KWh
JUN	3,67 KW	30	2.638,80 KWh
JUL	2,86 KW	31	2.127,84 KWh
AGO	2,86 KW	31	2.127,84 KWh
SEP	3,67 KW	30	2.638,80 KWh
OCT	4,87 KW	31	3.624,47 KWh
NOV	5,68 KW	30	4.087,15 KWh
DIC	6,48 KW	31	4.822,31 KWh

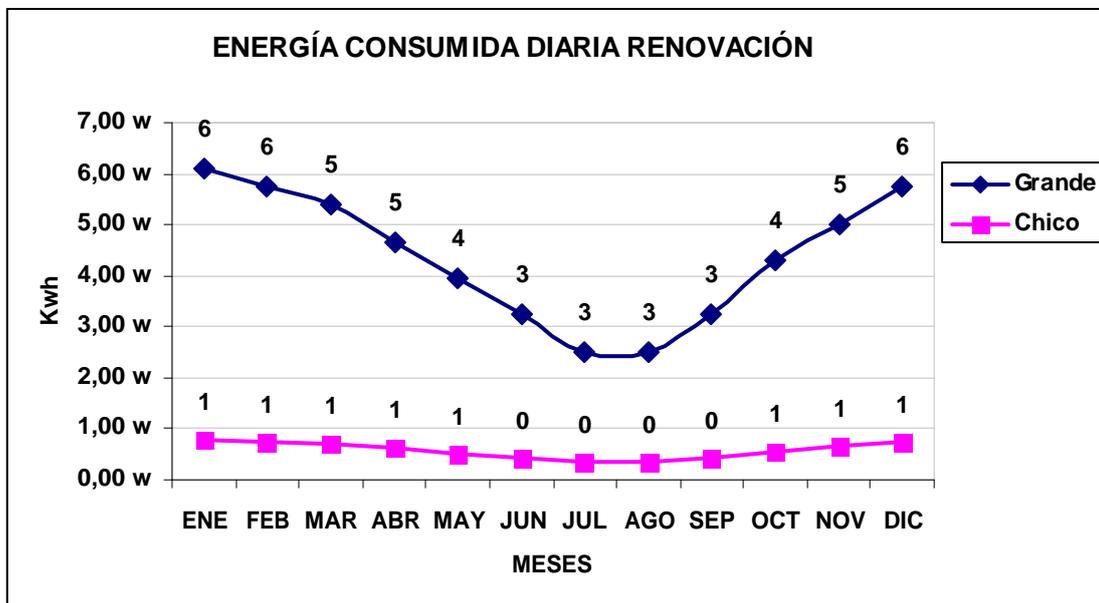
**Tabla 18.** Pérdidas por renovación de las piscinas a lo largo del año

Pérdidas por renovación piscina principal: **38.181 KWh**

Pérdidas por renovación piscina complementaria: **5.009 KWh**

Pérdidas por renovación totales: **43.191 KWh**

En la siguiente gráfica se representan las pérdidas por renovación que existen en ambos vasos de las piscinas. Los meses que mayor pérdida por renovación son los meses de diciembre y enero debido a que durante estos meses el agua de la red es menor (temperatura aproximada de 12°C) mientras que los meses de menor pérdidas de renovación son junio y julio (temperatura aproximada de 22°C).

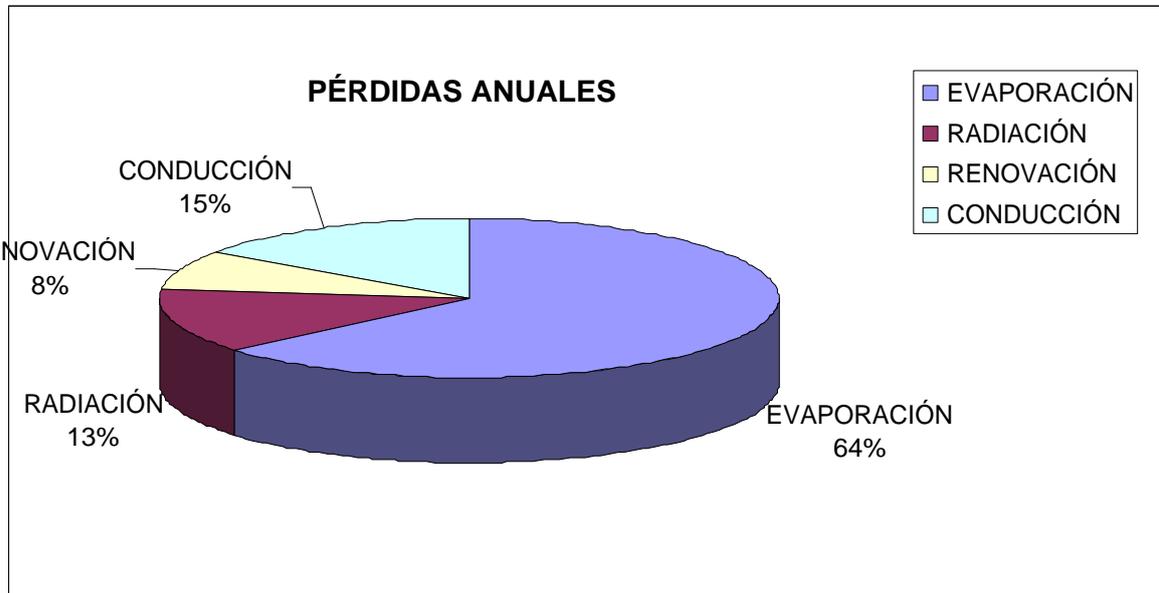


**Ilustración 32.** Pérdidas por renovación de los vasos principal (de competición) y complementario (enseñanza) a lo largo del año.

En la Ilustración 32 se representan las pérdidas por renovación de energía anuales en los dos vasos.

Existe la posibilidad de incorporar un intercambiador de calor entre el agua caliente eliminada y el agua de entrada. En esta instalación no se ha incorporado ningún elemento para recuperar parte del calor del agua eliminada.

En este estudio no han sido incluidas las pérdidas de los cerramientos ya que el sistema que se pretende calcular es sólo para el calentamiento del agua de los vasos de la piscina.



**Ilustración 33.** Energía consumida anual

ENERGIA ESTIMADA ANUAL	
EVAPORACIÓN	337.976 KWh
RADIACIÓN	69.204 KWh
RENOVIACIÓN	43.191 KWh
CONDUCCIÓN	81.478 KWh
<b>TOTAL</b>	<b>531.849 KWh</b>

**Tabla 19.** Consumo de energía estimado anual

Para calcular la potencia anual se han considerado las condiciones más críticas por lo que se toma el mes de enero. En la siguiente tabla se compara la potencia necesaria para el mes de enero con la media anual calculado en el apartado 3.3:

Perdidas	Media anual	Mes enero
EVAPORACIÓN	75,9 kW	75,87 kW
RADIACIÓN	15,8 kW	15,8 kW
CONDUCCIÓN	15,8 kW	34,1 kW
<b>Totales</b>	<b>107,5 kW</b>	<b>125,77 kW</b>

**Tabla 20.** Comparación energía requerida media mensual y la energía mensual pico.

La diferencia se debe principalmente a las pérdidas por conducción cuyo valor en el mes de enero difiere mucho con respecto a la media anual debido a la baja temperatura ambiental. Al total de estas pérdidas hay que sumarle las pérdidas producidas por

renovación. Estas se cubrirán durante las horas que no están abiertas al público, por lo que la normativa no contempla estas pérdidas a la hora de calcular la potencia térmica necesaria. Esto no significa que estas pérdidas sean despreciables ya que suponen en torno al 20% de la energía necesaria anual.

Para la potencia térmica necesaria anual se escoge la potencia térmica requerida en el mes más crítico, enero, que requiere una potencia de **125 KW**.

### 3.2.11. Cálculo del ahorro energético y económico

El cambio de un sistema de calentamiento por otro conlleva un ahorro tanto energético como económico. El sistema usado actualmente para el calentamiento del agua de la piscina es caldera de gasoil y se pretende sustituir por un sistema termodinámico. Esta sustitución será total aunque la caldera de gasoil quedará conectada en paralelo al sistema termodinámico como sistema de repuesto en caso de fallo o como sistema auxiliar si se alcanzan unas condiciones muy críticas.

El rendimiento de la caldera es del 92% según las especificaciones técnicas de la caldera, lo cuál está por encima del 89,9% exigido por ley para este tipo de calderas, [29].

Según los datos de consumo anual calculados anteriormente se calcula el gasto anual de ambos sistemas.

Comparación termodinámica-caldera de gasoil						
MES	ENERGÍA CONSUMIDA (KWh/mes)	COP termodinámica	Ahorro energético (KWh/mes)	Coste gasoil €	Coste termodinámica €	Ahorro €
ENE	53692,00	4,1	40596,39	4.377,1 €	1.545,3 €	2.831,8 €
FEB	47089,24	4,3	36138,25	3.838,8 €	1.292,2 €	2.546,6 €
MAR	49742,10	5,7	40938,19	4.055,1 €	1.038,9 €	3.016,2 €
ABR	44732,64	5,0	35695,74	3.646,7 €	1.066,4 €	2.580,3 €
MAY	42696,42	5,4	34789,68	3.480,7 €	933,0 €	2.547,7 €
JUN	38311,32	6,2	32132,07	3.123,2 €	729,2 €	2.394,1 €
JUL	35497,48	7,0	30426,41	2.893,8 €	598,4 €	2.295,4 €
AGO	35497,48	7,0	30426,41	2.893,8 €	598,4 €	2.295,4 €
SEP	39924,12	6,2	33484,75	3.254,7 €	759,8 €	2.494,8 €
OCT	44661,77	5,4	36391,08	3.640,9 €	975,9 €	2.665,0 €
NOV	47446,03	5,7	39048,50	3.867,9 €	990,9 €	2.877,0 €
DIC	52558,59	4,1	39739,42	4.284,7 €	1.512,7 €	2.772,0 €
<b>Total</b>	<b>531.849,20</b>	<b>-----</b>	<b>429.806,9</b>	<b>43.357,3 €</b>	<b>12.041,0 €</b>	<b>31.316,3 €</b>

**Tabla 21.** Comparación termodinámica frente a la caldera de gasoil

El COP medio anual a lo largo del año es de 5,5. Estos COP han sido obtenidos a partir de las pruebas realizadas en el laboratorio propio de la empresa que proporciona el equipo y contrastados con los datos proporcionados por el fabricante del compresor.

Para los cálculos el coste se han tomado los siguientes datos, [28]:

- Precio del gasoil: 0,075 €/KWh.
- Precio de la electricidad: 0,118 €/KWh.

En base a la tabla anterior se puede concluir que el ahorro anual producido por el cambio de un sistema a otro es de **429.807 KWh** y de **31.316 €**.

### 3.2.12. Dimensionamiento del sistema termodinámico

Para calcular en número de equipos necesarios se selecciona el COP mínimo para dimensionar en función del mes más desfavorable. El número de equipos necesarios se calcula de la siguiente forma:

$$N^{\circ}_{\text{equipos}} = \frac{P_{\text{máxima}}}{COP_{\text{mínimo}} \cdot P_{\text{elétricaGrupo}}}$$

Siendo:

$P_{\text{máxima}}$  = La potencia térmica necesaria en el mes más desfavorable (enero),

125 KW en total: 103KW para el vaso de competición y 22KW para el vaso de enseñanza.

$COP_{\text{mínimo}}$  = COP mínimo alcanzado por el equipo correspondiente al mes de enero, 4,1.

$P_{\text{ElétricaGrupo}}$  = Potencia eléctrica de cada grupo termodinámico de 24 paneles: 7,83 KW

El número de equipos necesarios es de 3,2 equipos para el vaso de competición por lo que se colocarán 4 equipos termodinámicos de 7,83 KW y 24 paneles. Para el vaso de enseñanza se colocará un grupo de 6,29 KW y 20 paneles. Estos equipos incluyen un intercambiador gas-agua cuyos detalles aparecen más adelante.

Según los equipos elegidos, sus características y la demanda de la instalación se obtienen los siguientes datos:

MES	COP	Vaso de competición			Vaso de enseñanza		
		ENERGÍA TÉRMICA CONSUMIDA (KWh/día)	Potencia térmica total KW	Horas de funcionamiento al día	ENERGÍA TÉRMICA CONSUMIDA (KWh/día)	Potencia térmica total KW	Horas de funcionamiento al día
ENE	4,1	44506,1	128,4	11,2	9185,9	25,8	11,5
FEB	4,3	38953,8	134,7	10,3	8135,4	27,0	10,7
MAR	5,7	41060,6	177,0	7,5	8681,5	35,5	7,9
ABR	5,0	37062,7	155,0	8,0	7669,9	31,1	8,2
MAY	5,4	35275,3	169,1	6,7	7421,2	34,0	7,0
JUN	6,2	31617,7	194,2	5,4	6693,6	39,0	5,7
JUL	7,0	29378,3	219,2	4,3	6119,2	44,0	4,5
AGO	7,0	29378,3	219,2	4,3	6119,2	44,0	4,5
SEP	6,2	32845,3	194,2	5,6	7078,8	39,0	6,1
OCT	5,4	36810,1	169,1	7,0	7851,6	34,0	7,5
NOV	5,7	39217,7	177,0	7,4	8228,4	35,5	7,7
DIC	4,1	43551,5	128,4	10,9	9007,1	25,8	11,3
<b>Total</b>	---	<b>439657,56</b>	---	---	---	---	---

**Tabla 22.** Energía potencia y horas de funcionamiento de los equipos termodinámicos.

Se observa que el máximo de horas de funcionamiento es de 11,5 horas para el vaso de enseñanza en el mes de enero. En caso de que sea necesario la caldera puede entrar en funcionamiento como apoyo.

### 3.2.13. Características técnicas de los grupos termodinámicos

Cada equipo termodinámico constará de las siguientes partes:

1. Bloque termodinámico, que a su vez consistirá en:
  - a. Compresor Danfoss Scroll.
  - b. Arrancador suave MCI25
  - c. Válvula de expansión termostática con equilibrado de presión externo TEN5, orificio "02".
  - d. Filtro deshidratador 5/8"
  - e. Visor de líquido 5/8"

f. Calderín de 15 l DVLA1500

2. 24 ó 20 placas roll-bond como evaporador.
3. Condensador= intercambiadores de placas.
4. Resistencia de cárter= para evitar golpes de líquido al compresor.
5. Separador de aceite, para evitar la salida del aceite del cárter.
6. Serpentín intercambiador alrededor del compresor, para ayudar a la disipación de calor del mismo, favoreciéndose el recalentamiento del gas.

GTD144-4	
Tipo de intercambio	Gas-agua
Conexión eléctrica	400/3/50
Agente refrigerante	R-134a
Potencia entregada en calor (kW)	54,81
Potencia absorbida en funcionamiento nominal (*) (kW)	7,83
COP calor	7,00
Dimensiones (mm)	1110x470x1250
Nº unidades en la instalación	4,00
Potencia total entregada en calor (kW)	219,24
Potencia total absorbida en funcionamiento nominal (*) (kW)	31,32

(\*) Condiciones ARI con R134a: 20°C temperatura de evaporación; 40 °C temperatura condensación; 8.3K subenfriamiento; 11.1K recalentamiento, 50 Hz, 400 V.

**Tabla 23.** Características del grupo termodinámico GTD144-4.

GTD125	
Tipo de intercambio	Gas-agua
Conexión eléctrica	400/3/50
Agente refrigerante	R-134a
Potencia entregada en calor (kW)	44,03
Potencia absorbida en funcionamiento nominal (*) (kW)	6,29
COP calor	7,00
Dimensiones (mm)	1110x470x1250
Nº unidades en la instalación	1,00
Potencia total entregada en calor (kW)	44,03
Potencia total absorbida en funcionamiento nominal (*) (kW)	6,29

**Tabla 24.** Características del grupo termodinámico GTD144-4.

(\*) Condiciones ARI con R134a: 20°C temperatura de evaporación; 40 °C temperatura condensación; 8.3K subenfriamiento; 11.1K recalentamiento, 50 Hz, 400 V.

### **Instalación de los grupos termodinámicos**

Cada grupo lleva las siguientes conexiones:

<b>Nº conexión</b>		<b>Descripción</b>
1	Salida de agua caliente	Procedente del condensador y destinada a calefacción de piscina
2	Entrada de agua fría	Hacia el condensador
4	Entrada de agua caliente	Hacia el evaporador
5	Salida de gas a paneles exteriores	Como continuación del proceso de evaporación
6	Entrada de gas	Línea de aspiración

**Tabla 25.** Instalación de los grupos termodinámicos.

### **Sistemas de intercambio**

El sistema de intercambio se compone de intercambiadores de placas situados en el interior del grupo termodinámico, que ejercerán como condensadores generando agua caliente.

El intercambio de calor entre los circuitos de agua caliente (calefacción de piscina) se realizará a través de intercambiadores de placas gas-agua. Los intercambiadores seleccionados son los siguientes:

### **Instalación de paneles termodinámicos**

A tenor de los cálculos energéticos se instalarán 116 paneles termodinámicos en total, 24 paneles correspondientes a cada grupo para el vaso de competición y 20 paneles para el grupo del vaso de enseñanza.

- Se instalarán todos ellos conectados en paralelo
- Estarán orientados en dirección sur, o con la mínima desviación posible respecto a la misma, logrando un compromiso entre rendimiento e integración arquitectónica.
- La inclinación con respecto a la horizontal recomendada será de 50°, lo cual favorece el rendimiento del sistema en los meses de invierno.

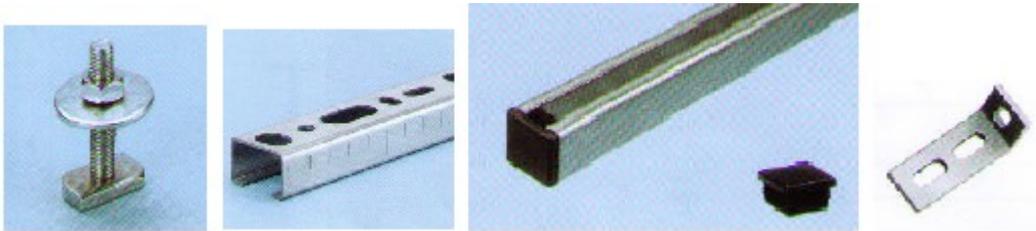
- Llevarán distribuidores de líquido, que aseguren la homogénea distribución del fluido refrigerante a través de todos los paneles.

Para la instalación de los paneles termodinámicos se suministran los siguientes elementos:

Estructura soporte que consta de los siguientes elementos:

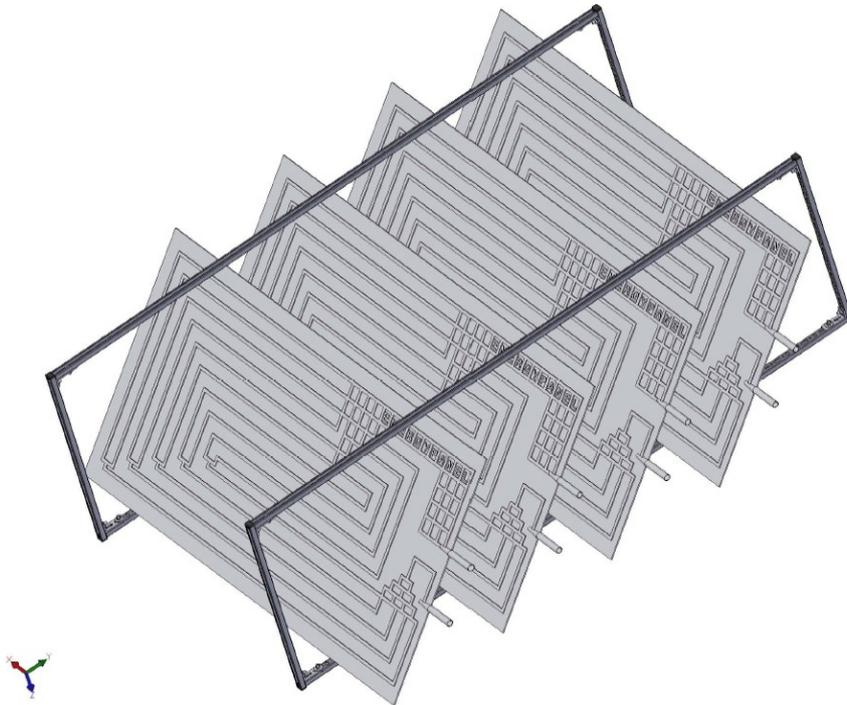
- 10,7 m. carril guía (cada carril mide 2m, cada estructura lleva 5,33 carriles).
- 8 tapones.
- 8 angulares de unión.
- 16 tornillos 25 mm (para fijación angulares).
- 16 tornillos 30 mm (para fijación paneles).

Cada estructura soporte se utilizará para la instalación de 4 paneles (si inclinación= 50° y separación=55 cm).



**Ilustración 34.** Detalle elementos de fijación de la estructura soporte.

Los paneles irán situados en la estructura soporte según la siguiente figura.



**Ilustración 35.** Estructura soporte para cuatro paneles termodinámicos.

La separación mínima entre paneles de una misma fila será de unos 50 cm desde la base de los mismos. Si el espacio disponible es mayor, esta distancia se puede aumentar hasta eliminar la posibilidad de sombras. La separación entre filas de paneles será como mínimo de unos 30 cm, espacio necesario para instalar las tuberías de entrada y salida a los mismos.

### 3.3 PRESUPUESTO Y AMORTIZACIÓN

El siguiente presupuesto incluye sólo y exclusivamente los costes de material de los equipos termodinámicos y sus accesorios principales. Los costes de instalación así como los materiales auxiliares para ello no están incluidos.

PRESUPUESTO			
UD.	Descripción	Coste unitario	Coste total
116	Panel Termodinámico Plegado Anodizado	200,48 €	23.255,68 €
4	Grupo termodinámico GTD144	7.790,50 €	31.162,00 €
1	Grupo termodinámico GTD125	7.121,28 €	7.121,28 €
29	Distribuidor de líquido 1x1/2 - 4x1/4	5,47 €	158,63 €
29	Estructura soporte panel termodinámico	45,56 €	1.321,24 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO (€) sin IVA</b>			<b>63.018,83 €</b>

**Tabla 26.** Presupuesto materiales

La instalación presenta un periodo de amortización de **2,14 años**, según los precios de la energía actuales.

<b>AÑO</b>	1	2	3	4	5	6
<b>AHORRO</b>	-35171	-4539,3	29155,5	66219,9	106990,7	151838,5
<b>AÑO</b>	7	8	9	10	11	12
<b>AHORRO</b>	201171,2	255437,1	315129,6	380791,4	453019,4	532470,1

**Tabla 27.** Amortización del presupuesto

(\*)El resultado y las variaciones del cuadro de amortización sufrirán variaciones dependiendo de las oscilaciones de los valores de la energía utilizada y comparativa para el mismo cálculo. Se calcula actualmente sobre unos costes actuales y unas variaciones fijas.

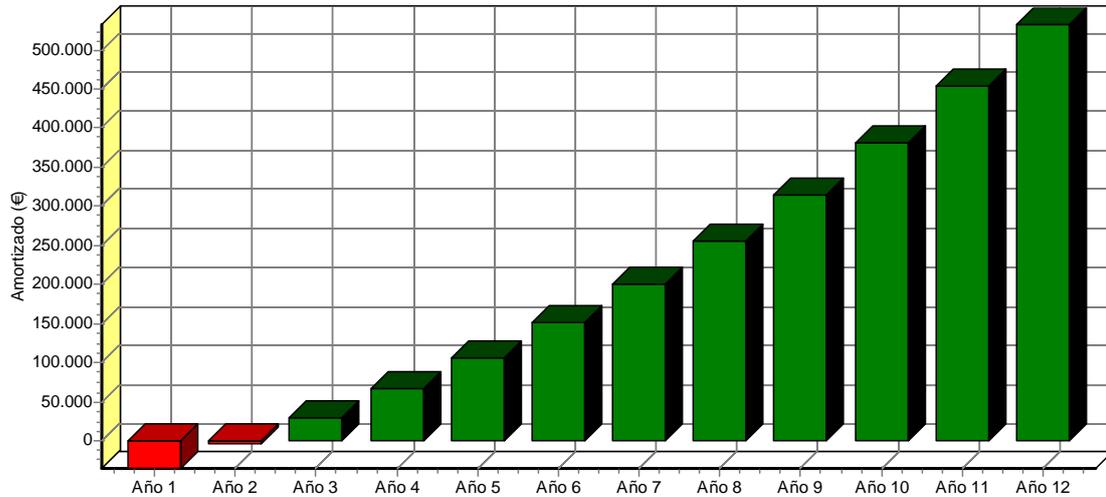


Ilustración 36. Gráfico de amortización

### 3.4 EMISIONES DE CO<sub>2</sub>.

Para medir el impacto ambiental que causan los sistemas de calentamiento de la piscina se utilizan las emisiones de CO<sub>2</sub>. La cuantía de los Kg de CO<sub>2</sub> por kWh depende de la fuente de información llegando a haber una gran variación entre una fuente y otra. En este caso se han tomado los datos aportados por la agencia de la energía.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas para la obtención de energía eléctrica varían continuamente, puesto que depende del tipo de central de la que proceda (térmica con quema de carbón, hidroeléctrica, eólica,...). Para calcular las emisiones en Kg CO<sub>2</sub> de la energía eléctrica se ha hallado un coeficiente de emisión específica media del parque de generación de energía eléctrica de España en el año 2006, resultando un valor de **0,4556 kg/kwh.**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el gasóleo de calefacción puede variar un poco en función de las calidades del gasóleo, la caldera en la que se quema,... La Agencia Internacional de la Energía fija un valor de **0,3182 kg/kwh.**

A partir de estos datos se calcula las emisiones anuales producidas empleando caldera de gasoil como se ha usado hasta la actualidad, y con sistemas termodinámicos.

Comparación emisiones CO <sub>2</sub> termodinámica-caldera de gasoil en T (toneladas)					
MES	ENERGÍA CONSUMIDA (kWh/mes)	COP termodinámica	T CO <sub>2</sub> con caldera gasoil	T CO <sub>2</sub> con sistema termodinámico	Ahorro T de CO <sub>2</sub>
ENE	53692,0	4,1	17,1	4,2	12,9
FEB	47089,2	4,3	15,0	3,5	11,5
MAR	49742,1	5,7	15,8	2,8	13,0
ABR	44732,6	5,0	14,2	2,9	11,4
MAY	42696,4	5,4	13,6	2,5	11,1
JUN	38311,3	6,2	12,2	2,0	10,2
JUL	35497,5	7,0	11,3	1,6	9,7
AGO	35497,5	7,0	11,3	1,6	9,7
SEP	39924,1	6,2	12,7	2,0	10,7
OCT	44661,8	5,4	14,2	2,6	11,6
NOV	47446,0	5,7	15,1	2,7	12,4
DIC	52558,6	4,1	16,7	4,1	12,6
<b>total</b>	<b>531.849,20 kWh/año</b>	---	<b>169,2</b>	<b>32,5</b>	<b>136,8</b>

**Tabla 28.** Comparación emisiones de CO<sub>2</sub>

Al cambiar del sistema de calentamiento actual, con caldera de gasoil, al sistema termodinámico **se dejarían de emitir 136 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera cada año.**