



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO ENERGÉTICO DE POLIDEPORTIVO

Alumno: Carlos Martínez Gómez

Tutor: Prof. D. Miguel Ángel García Gutiérrez.
Dpto: Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos.

Octubre, 2015

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Motivación	3
1.2 Auditoría energética	3
1.3 Objetivo de estudio de nuestra instalación.	4
2. CARACTERÍSTICAS DE LAS PISCINAS CLIMATIZADAS	4
3. REGLAMENTACIÓN.	5
3.1 Normativa de aplicación.	5
3.1.1 Normativa sobre Instalaciones Deportivas y de Esparcimiento (NIDE).....	5
3.1.2 Reglamento de instalaciones térmicas en edificios.	6
3.1.2 Código Técnico de la Edificación.	7
3.1.3 Reglamento sobre condiciones higiénico – sanitarias.....	7
4. DATOS DEL POLIDEPORTIVO	8
5. CONSUMO ENERGÉTICO.....	10
5.1 Consumos referentes a las piscinas.	11
5.2 Consumos de la deshumidificación.	11
5.3 Pérdidas de calor en el vaso.	13
5.3.1 Evaporación del vaso de agua.	14
5.3.2 Renovación del vaso de agua.	19
5.3.3 Transmisión.....	21
5.3.4 Radiación.	24
5.3.5 Convección.....	24
5.3.6 Resumen pérdidas de calor en el vaso.	25
5.4 Necesidades térmicas en el ambiente.	26
5.4.1 Pérdidas de calor por transmisión.	26
5.4.2 Pérdidas de calor por ventilación.	29
5.5 Agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda energética por consumo de ACS.	31
5.6 Deshumidificador.....	34
5.7 Iluminación.....	35
6.SOLAR TÉRMICA. CONDICIONES GENERALES DE LA INSTALACIÓN SOLAR.	36
6.1 Definición.....	36
6.2 Criterios generales de cálculo empleados en este estudio.	37

6.2.1 Condiciones iniciales.....	37
6.2.2 Zonas climáticas.....	37
6.2.3 Sistemas de captación.	38
6.2.4 Sistema de acumulación solar.....	39
6.2.5 Dimensionado básico del campo de captación solar.....	40
6.3 Resultados.....	47
6.3.1 Definición de condiciones.....	47
6.3.2 Tablas de resultados.	48
7. MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO.	55
7.1 Instalación de una manta térmica.	56
7.2 Instalación de caldera de gasóleo C.....	57
7.3 Instalación de caldera de Biomasa.....	60
7.4 Instalación de iluminación.....	64
7.5 Instalación de caldera de biomasa y manta térmica.....	67
7.6 Instalación de intercambiador de calor.	69
7.7 Consumos totales del polideportivo	71
8. BIBLIOGRAFÍA.....	72

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

El consumo de energía se incrementa a la vez que el desarrollo económico, es de gran importancia llevar a cabo unas medidas que optimicen la demanda energética de edificios o locales. Conseguiremos una mejor eficiencia energética de un edificio cuanto menor sea el consumo de energía consumida en nuestro caso por un polideportivo.

1.2 Auditoría energética

La auditoría energética es una herramienta de gran importancia a la hora de estudiar el consumo energético de un edificio, ésta consiste en una inspección de los flujos de energía de un determinado edificio.

Mediante esta herramienta podemos estudiar el grado de eficiencia energética de cualquier instalación, podemos obtener cuales son los equipos que más energía consumen y también sobre los cuales podemos hacer un mayor ahorro energético. Conociendo esto también podremos hacer un cálculo estimado sobre el potencial de ahorro y cuando sería rentable la reforma a realizar.

Las piscinas climatizadas son grandes consumidoras de energía, esta energía se utiliza mayormente en la climatización del polideportivo y en el calentamiento del agua de las piscinas. Este trabajo tiene como objetivo principal estudiar el consumo de todas las instalaciones así como su mejora en su consumo energético.

Del polideportivo se han realizado estudios sobre el consumo energético que actualmente tiene que soportar el edificio y se propondrán una serie de mejoras y modificaciones para conseguir bajar dichos consumos energéticos y bajar, en consecuencia, el gasto de explotación anual.

La auditoría energética no es más que una serie de estudios energéticos que van desde una visita rápida a las instalaciones del polideportivo para luego profundizar y hacer un análisis de éstas más a fondo para así ver los principales problemas y estudiarlos para que satisfagan a los criterios financieros solicitados por los inversores.

1.3 Objetivo de estudio de nuestra instalación.

El polideportivo del estudio consta de dos piscinas climatizadas, para el cálculo del consumo de nuestra instalación deportiva vamos a analizar la pérdida de calor del polideportivo. Éste lo vamos a dividir en dos partes, primero estudiamos las pérdidas de calor correspondientes a ambas piscinas, calculando también las pérdidas en la acumulación de agua caliente sanitaria (ACS).

En segundo lugar vamos a calcular las pérdidas en el ambiente dentro del polideportivo, ya que es preciso que el recinto siempre se encuentre a una temperatura y una humedad relativa óptima.

A la vista de los resultados y valorados dichos resultados, podremos ver donde se consume más energía para así poder tomar medidas al respecto de ahorro energético, y convertir de este polideportivo una instalación con las mismas prestaciones pero más eficiente energéticamente.

Para este estudio energético partimos de un polideportivo donde vamos a calcular el número de captadores solares mínimo necesarias para que el polideportivo cumpla lo establecido por el Código Técnico de la Edificación sobre la contribución solar mínima en piscinas climatizadas. Una vez calculados estos captadores solares veremos las mejoras y el ahorro energético de la instalación. Este polideportivo dispone de una caldera de gas y una iluminación convencional las cuales conoceremos sus consumos anuales.

A continuación, sabido todo esto, vamos a desarrollar una serie de medidas o mejoras energéticas y veremos cuáles son más eficientes y cuanto podríamos ahorrarnos al año con la inversión al adoptar estas nuevas propuestas.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS PISCINAS CLIMATIZADAS

La característica principalmente de una piscina dentro de un complejo deportivo, son las medidas del vaso, ya que ésta dicta su capacidad y el aforo máximo de la piscina, de tal forma que en momentos de máxima concurrencia de bañistas se disponga mínimo de 2 m² de superficie de lámina por cada uno de los bañistas.

Las piscinas se diferencian en varias partes:

- Vaso: sirve como recipiente de agua, ésta puede ser fabricada de muchos materiales (pintura, gresite, prefabricada,...)
- Playa: es la zona perimetral exterior del vaso, donde los bañistas pueden reposar.
- Sumidero de fondo: es un desagüe situado en la zona más profunda del vaso.

- Rebosadero: formado por una canaleta en la zona perimetral exterior de la piscina, es decir, la zona de la playa y es donde desborda el agua.
- Vaso de compensación: Es el lugar donde almacena el agua que se desborda y pasa al rebosadero, el vaso de compensación recibe el agua de renovación del vaso, el grupo de bombeo desde él aspira agua para filtrarla y más tarde devolverla al vaso de la piscina.
- Skimmer: apertura en los laterales de la piscina y a la altura de la superficie de la lámina de agua del vaso. Su función es la de aspirar el agua, para ello se colocan en dirección frente al viento dominante.
- Grupo de bombeo: Está formada por varias bombas y se encarga de recircular toda el agua de la piscina en un tiempo prefijado, aspirándola bien del fondo de la piscina, del skimmer o del rebosadero.

3. REGLAMENTACIÓN.

3.1 Normativa de aplicación.

La normativa de aplicación para el caso de las piscinas climatizadas, son:

- Normativa sobre las Instalaciones Deportivas y de Esparcimiento (NIDE). Normas reglamentarias y normas de proyecto.
- Reglamentación de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE-2007). RD 1027/2007.
- Código Técnico de la Edificación. Documento Básico sobre Ahorro de Energía. Contribución Solar Mínima. CTE-DB-HE4.
- Reglamento técnico Sanitario en Andalucía en el Real Decreto 742/2013.

3.1.1 Normativa sobre Instalaciones Deportivas y de Esparcimiento (NIDE).

La normativa sobre instalaciones deportivas y de esparcimiento es la norma básica sobre la que hay que partir a la hora de diseñar una piscina que posteriormente pueda ser utilizada para entrenamiento o competición en las distintas especialidades representadas por la Real Federación Española de Natación y son:

- Natación.
- Natación sincronizada.
- Saltos.
- Water-polo.
- Piscinas de chapoteo.

- Piscinas de enseñanza.
- Piscinas polivalentes.
- Piscinas de Recreo.

Esta norma define aspectos relacionado con la forma y dimensiones del vaso de agua, de las playas, de iluminación y también de las características térmicas del agua. En este sentido determina los siguientes valores de temperatura:

- Los vasos para uso deportivo de natación, natación sincronizada, waterpolo y saltos, tendrán el agua a una temperatura de $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, establecido así por la real federación española de natación.
- Los vasos polivalentes tendrán el agua a una temperatura de $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Los vasos de recreo el agua se encontrará a una temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Los vasos de chapoteo, su temperatura estará entre los valores de $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, es recomendable que pueda llegar hasta 28°C .
- Los vasos tendrán una temperatura adecuada a su finalidad.

La normativa NIDE también establece que el aire de toda piscina cubierta que incluya un vaso de natación, debe estar constantemente a una temperatura entre 2°C y 3°C por encima de la del vaso de agua, con un máximo de 28°C de temperatura ambiente.

La humedad relativa del recinto también debe estar comprendida entre 55% y 70% de humedad. Es recomendable usar como factor de diseño una humedad relativa del 60%. El mantenimiento de esta humedad relativa del ambiente dentro de los límites indicados por dicha norma suele lograrse por la instalación de una bomba de calor, que hace la función de una deshumectadora, enfriando y deshumectando, y calentando el aire si así se requiere. El sistema de ventilación del polideportivo dispondrá de ventiladores con recuperador de calor del aire expulsado.

3.1.2 Reglamento de instalaciones térmicas en edificios.

El Real Decreto 1027/2007, de 20 de Julio, por el que se aprueba el RITE y sus Instrucciones Técnicas complementarias ITE.

El RITE determina que la temperatura del agua de una piscina ha de mantenerse entre 24°C y 30°C . Esta temperatura a mantener, deberá variar con el uso, es decir, con la actividad metabólica de los bañistas.

Para evitar el desagradable efecto de la estratificación de la temperatura, el agua caliente ha de introducirse en el vaso, preferiblemente desde la zona inferior de la piscina.

El RITE también hace referencia a la temperatura ambiente de las piscinas, y esta temperatura debe ser de 2°C a 3°C mayor que la temperatura del vaso, para así compensar el efecto de enfriamiento que provoca la evaporación del agua de un bañista mojado. La temperatura del ambiente debe estar entre 26°C y un máximo de 29°C, por tanto la piscina no podrá estar en valores de temperatura superior a 27°C.

El RITE determina que la humedad relativa de dentro del polideportivo debe estar entre valores inferiores al 65% con el fin de evitar las condensaciones de las paredes en contacto con el exterior.

En el apartado 1.1.4.2.2, del RITE determina la calidad mínima de aire a mantener en diferentes tipos de recinto:

Para piscinas climatizadas indica un caudal mínimo de aire de ventilación igual a 2'5 l/s por metro cuadrado de superficie de la lámina del agua y de la playa, al que se debe sumar, el caudal para mantener la humedad relativa dentro del recinto. Las piscinas deben mantenerse en depresión con respecto a locales contiguos de unos 20 y 40 Pa.

3.1.2 Código Técnico de la Edificación.

El Código técnico de la edificación en su documento básico sobre ahorro de energía. Contribución solar mínima CTE-DB-HE4 establece:

Para piscinas cubiertas, el código técnico exige una contribución solar mínima del 30% hasta el 70%, según la zona climática.

	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
Piscinas Cubiertas	30	30	50	60	70

Tabla 1. Contribución solar mínima en piscinas climatizadas

El documento determina también los casos en los que esta justificado no alcanzar los niveles de aporte solar solicitados. En dicho caso el promotor deberá diseñar sistemas de eficiencia energética o apoyo con otras energías renovables que compensen el aporte solar.

3.1.3 Reglamento sobre condiciones higiénico – sanitarias.

El reglamento sobre condiciones higiénico-sanitarias de las piscinas de uso colectivo de Andalucía en el Real Decreto 742/2013 establece:

Las piscinas cubiertas dispondrán de las instalaciones necesarias que aseguren la renovación constante de aire del recinto, manteniendo así una humedad relativa media del aire comprendida entre 60% y 75%. En estas

piscinas, el agua de los vasos deberá estar por debajo de la temperatura del ambiente en torno a 2°C o 3°C.

El agua de abastecimiento de los vasos tendrá que proceder preferentemente de la red de distribución de agua potable. En el caso de que el agua tuviera otra procedencia, su utilización requerirá de una autorización de la dirección general de la salud. El aporte de agua nueva será realizada diariamente y será del 5% del volumen total del vaso.

4. DATOS DEL POLIDEPORTIVO

➤ Condiciones externas al cálculo.

En el presente trabajo se ha realizado una auditoria energética relativa a las instalaciones térmicas del Centro Deportivo de La Carolina, situado en la calle Mina la Rosa, en La Carolina, provincia de Jaén. El polideportivo es un edificio aislado del exterior.

Latitud: 38° 21' N.

Longitud: 3° 37' W.

Altitud: 595 metros sobre el nivel del mar.

Es importante saber la zonificación climática según dicta en el apéndice D del código técnico de la edificación:

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)
Albacete	D3	677
Alicante	B4	7
Almería	A4	0
Ávila	E1	1054
Badajoz	C4	168
Barcelona	C2	1
Bilbao	C1	214
Burgos	E1	861
Cáceres	C4	385
Cádiz	A3	0
Castellón de la Plana	B3	18
Ceuta	B3	0
Ciudad real	D3	630
Córdoba	B4	113
Coruña (a)	C1	0
Cuenca	D2	975
Donostia-San Sebastián	C1	5
Girona	C2	143
Granada	C3	754
Guadalajara	D3	708
Huelva	B4	50
Huesca	D2	432
Jaén	C4	436
León	E1	346
Lleida	D3	131
Logroño	D2	379
Lugo	D1	412
Madrid	D3	589
Málaga	A3	0

Tabla 2. Zonificación climática según CTE.

Como podemos ver Jaén se encuentra en la zona climática C4 y por lo tanto La Carolina al pertenecer a la provincia de Jaén, su zona climática es de tipo C4.

➤ Instalaciones.

El Centro Deportivo de La Carolina es una instalación de 35 x 20m y 10 metros de altura, con orientación Sureste. Este polideportivo dispone de dos piscinas; una de ellas de natación cuyas medidas son 25 x 12'5 m y posee un volumen de 500 m³, la piscina restante es una piscina de recreo de dimensiones 12'5 x 6 m, ésta tiene 69 m³ de volumen.

Ambas piscinas se encuentran a una temperatura de 26°C, el recinto donde se encuentran se encuentra a una temperatura de 28°C y 60% de humedad relativa.

El horario de funcionamiento del Centro Deportivo es de 7:00 a 22:30h de Lunes a Viernes, y de 9:00 a 20:00h los Sábados, los domingos y días festivos el centro permanecerá cerrado.

El polideportivo tiene una sala de calderas donde se encuentran dos calderas acopladas en paralelo de 255 kW y 50 kW respectivamente, estas dos calderas son las responsables de la producción de agua caliente sanitaria (ACS), la calefacción del polideportivo y el calentamiento del agua de ambas piscinas. Estas calderas tienen como combustible gas natural. La acumulación de agua caliente sanitaria consiste en un único depósito de 4.000 litros de agua a 60°C.

En el siguiente esquema lo veremos de forma más simplificada:

Polideportivo	Piscina Semiolímpica
• Largo 35 m. • Ancho 20 m. • Altura 10 m.	• Medidas 25x 12'5 m • Superficie 312'5 m² • Volumen 500 m³
Piscina de recreo	Recepción
• Medidas 12'5 x 6 m • Superficie 75 m² • Volumen 69 m³	• Medidas 10 x 12 x 10 m
Vestuario chicos	Vestuario chicas
• Medidas 5 x 4 x 2'5 m	• Medidas 5 x 4 x 2'5 m
Sala de calderas	
• Medidas 5 x 4 x 2'5 m	

Tabla 3. Medidas del polideportivo del estudio

5. CONSUMO ENERGÉTICO

En todo polideportivo existen un importante coste en el mantenimiento y explotación de las instalaciones y más si cabe si éste dispone de piscinas climatizadas que hacen que este consumo aumente considerablemente.

Principalmente estos altos costes son debidos a:

- Gran cantidad de personas que usan las instalaciones del polideportivo normalmente no concienciados en temas de ahorro energético.

- Las instalaciones necesitan de unas condiciones de calidad tanto del agua del vaso como del aire del polideportivo para poder ser usados por el público.

Vamos a analizar los diferentes equipos que consumen energía, hay equipos que consumen energía eléctrica y otras máquinas que emplean el gas natural como combustible.

En todo estudio energético es necesario tener en cuenta diversos aspectos para poder ahorrar energía. Para ello vamos a dividirlo en tres aspectos importantes, primero estudiaremos el agua de las piscinas, seguido de las necesidades térmicas en el ambiente y por último el consumo de agua caliente sanitaria (ACS).

5.1 Consumos referentes a las piscinas.

En el polideportivo hay que tener claro que existe una gran evaporación de agua de las piscinas. Debido a este efecto para poder obtener unas condiciones óptimas de confort que son necesarias en este tipo de recintos es necesario tener en cuenta:

- Conseguir una temperatura y humedad adecuadas.
- Mantenimiento de la temperatura en ambas piscinas.
- Evitar corrientes de aire dentro del polideportivo.
- Evitar condensaciones en los cerramientos del recinto y las piscinas.

Para calcular la temperatura y humedad relativa haremos uso de la reglamentación ya explicada anteriormente. En nuestro caso vamos a fijar unas condiciones óptimas de confort que se recogen en la siguiente tabla:

Condiciones polideportivo	óptimas
Temperatura del aire	28°C
Temperatura del agua	26°C
Humedad relativa	60 %

Tabla 4. Condiciones óptimas de la instalación.

5.2 Consumos de la deshumidificación.

En las piscinas la evaporación del agua será mayor cuanto más gente haya en la piscina o cuanto más agitada este el agua de ésta. Otro factor que es importante tener en cuenta es la velocidad del aire, cuanto más elevada, más favorece la evaporación de agua. El calor latente de los bañistas o del público también favorece a la evaporación del agua.

Hay varias ecuaciones que se pueden aplicar para calcular la deshumidificación, hemos usado la de Bernier en piscinas cubiertas, ya que podría ser la más completa.

$$M_e = S \cdot [(16 + 133 \cdot n) \cdot (W_e - G_a \cdot W_{as})] + 0'1 \cdot N$$

Donde:

M_e : Masa de agua evaporada (kg/h)

S : Superficie de las piscinas 387'5 m².

n : nº de bañistas por m² de superficie lámina de agua, consideramos 50 bañistas/387'5 m².

W_e : Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua 26°C, y es de 0'0213 kg_{agua} / kg_{aire}

G_a : Grado de saturación 60 %.

W_{as} : Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura interior 28°C, y es de 0'0240 kg_{agua} / kg_{aire}

N : Número total de espectadores, cogeremos 35 personas.

Valores de las humedades absolutas del aire saturado:

T (°C)	Humedad absoluta ($\frac{kg_{agua}}{kg_{aire}}$)
20	0'0147
21	0'0155
22	0'0165
23	0'0177
24	0'0187
25	0'0200
26	0'0213
27	0'0225
28	0.0240
29	0'0255
30	0'0270

Tabla 5. Humedad absoluta del aire saturado.

Sustituyendo obtenemos:

$$M_e = 92'165 \frac{kg_{agua}}{h}$$

5.3 Pérdidas de calor en el vaso.

En la piscina climatizada las necesidades térmicas vienen definidas por: pérdida de calor por la evaporación del agua de la piscina, pérdida por renovación del aire de la piscina, pérdida por renovación del aire de los vestuarios, renovación del agua de la piscina y pérdidas por convección, radiación y conducción.



Ilustración 2. Pérdida por radiación

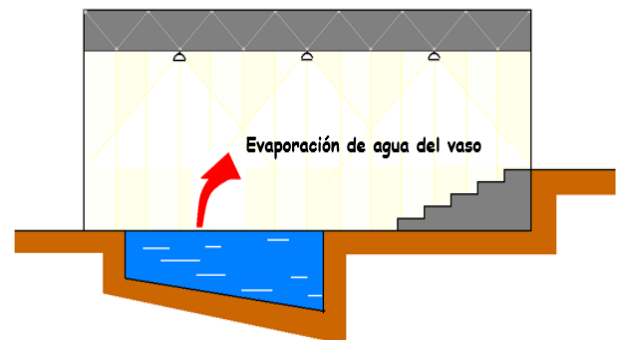


Ilustración 1. Pérdidas por evaporación.



Ilustración 3. Pérdidas por convección.

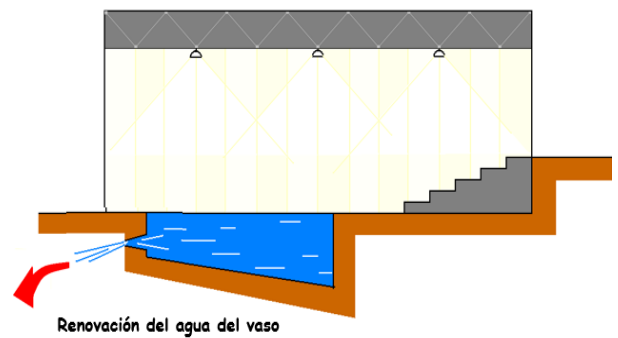


Ilustración 4. Pérdidas por renovación.

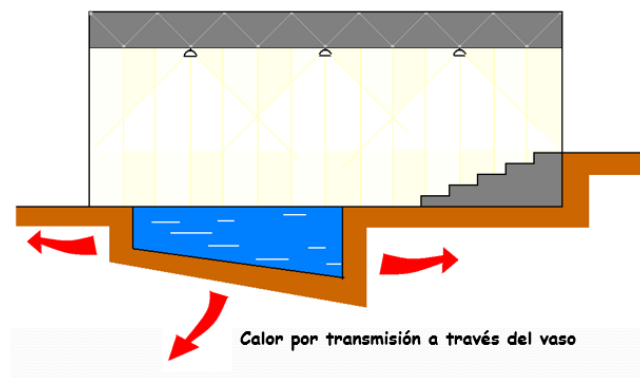


Ilustración 5. Pérdidas por transmisión.

Q_E : Pérdidas por evaporación del vaso.

Q_R : Pérdidas por radiación del calor.

Q_C : Pérdidas por convección del calor.

Q_T : Pérdidas por transmisión.

Q_{RE} : Pérdidas por renovación del vaso de agua.

Más abajo en los siguientes apartados estudiaremos estas pérdidas de calor.

5.3.1 Evaporación del vaso de agua.

En las piscinas se produce una constante evaporación del agua de la lámina superficial, ésta se evapora a expensas del calor del agua y se produce una capa de aire saturado de humedad. El aire que está en esta capa de aire pasa al ambiente más seco y esto lo hará directamente proporcional tanto en cuanto el agua este más agitada. La velocidad de evaporación del agua a medida que la humedad del recinto disminuye.

El agua al evaporarse del vaso de agua, absorbe calor enfriando el resto de agua del vaso, lo que quiere decir que a mayor evaporación de agua mayor será la bajada de temperaturas del agua.

La transferencia de masa de vapor de agua de aire se puede calcular con procedimientos diferentes, a continuación hemos empleado el método ASHRAE, ya que empleando este método estaremos al lado de la seguridad.

- Método ASHRAE:

Vamos a describir este método que será el utilizado en calcular la masa de agua evaporada en este proyecto.

Se emplea una ecuación de carácter empírico (Carrier, 1918) en las que entran en juego las presiones parciales del vapor de agua para diferentes temperaturas, el calor latente de evaporación, la superficie del agua mojada y dos coeficientes de velocidad del aire. Calculamos la masa de agua evaporada en:

- 1) Evaporación de la lámina superficial del vaso.

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

2) Evaporación del suelo mojado del suelo de la piscina (playa):

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

3) Evaporación producida por el cuerpo de las personas al salir de la piscina.

$$\dot{m}_p = \omega \cdot \frac{P_p - P_{ro}}{r_p} \cdot S_p$$

En las ecuaciones anteriores el coeficiente de velocidad ω (W/Pa·m²) se expresa con la ecuación:

$$\omega = \frac{88.75 - 78.15 \cdot V_i}{1000}$$

Las pérdidas totales de evaporación serán:

$$\dot{m} \left(\frac{kg}{s} \right) = \dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_p$$

Nuestro polideportivo a estudiar consta de dos piscinas una de ellas tiene un volumen de 500 m³ y la piscina restante posee un volumen de 69 m³.

La nomenclatura empleada y los valores de dichas presiones en la piscina de 500 m³ son los siguientes:

Abreviatura	Significado	Valor
P_w	Presión parcial del vapor de agua en la superficie del agua	2'140 Pa
P_s	Presión parcial del vapor de agua a la temperatura del suelo de la playa	1'168 Pa
P_p	Presión parcial del vapor de agua a la temperatura media del cuerpo humano (35°C)	3'370 Pa
P_{ro}	Presión parcial del vapor de agua a la temperatura de rocío del aire ambiente	1'1361 Pa
r_w	Calor latente de vaporización del agua a la temperatura de la superficie del agua	2.957'11 KJ/Kg

r_s	Calor latente de vaporización del agua a la temperatura de la superficie del suelo	2.963'43 KJ/Kg
r_p	Calor latente de vaporización del agua a la temperatura del cuerpo humano (35°C)	2.944'33 KJ/Kg
S_w	Superficie del agua del vaso	312'5 m ²
S_s	Superficie playa mojada	85'38 m ²
S_p	Superficie del cuerpo de las personas mojadas	26'5625 m ²
V_w	Velocidad del aire en la superficie del vaso	0,2 m/s
V_s	Velocidad del aire en la playa de la piscina	0,4 m/s
V_p	Velocidad del aire en el cuerpo de las personas	0,4 m/s

Tabla 6. Nomenclatura y condiciones piscina 500m2

- Realización de cálculo en la piscina de 500 m³:

$$\dot{m}_w = \omega \cdot \frac{P_w - P_{ro}}{r_w} \cdot S_w = \frac{88.75 - 78.15 \cdot 0.2}{1000} \cdot \frac{2'14 - 1'1361}{2957'11} \cdot 312'5 = 7'69 \text{ g/s}$$

Evaporación en el suelo mojado de la piscina (playa):

$$\dot{m}_s = \omega \cdot \frac{P_s - P_{ro}}{r_s} \cdot S_s = \frac{88.75 - 78.15 \cdot 0.2}{1000} \cdot \frac{1'168 - 1'1361}{2963'43} \cdot 85'38 = 3'58 \text{ g/s}$$

Evaporación producida por el cuerpo de las personas al salir de la piscina:

$$\dot{m}_p = \omega \cdot \frac{P_p - P_{ro}}{r_p} \cdot S_p = \frac{88.75 - 78.15 \cdot 0.2}{1000} \cdot \frac{3'37 - 1'1361}{2944'33} \cdot 4'269 = 2'69 \text{ g/s}$$

La suma será:

$$\dot{m}_I = \dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_p = 13'96 \left(\frac{g}{s} \right)$$

La nomenclatura empleada y los valores de dichas presiones en el vaso pequeño de 69 m³ de volumen son los siguientes:

Abreviatura	Significado	Valor
P_w	Presión parcial del vapor de agua en la superficie del agua	2'140 Pa
P_s	Presión parcial del vapor de agua a la temperatura del suelo de la playa	1'168 Pa
P_p	Presión parcial del vapor de agua a la temperatura media del cuerpo humano (35°C)	3'370 Pa
P_{ro}	Presión parcial del vapor de agua a la temperatura de rocío del aire ambiente	1'1361 Pa
r_w	Calor latente de vaporización del agua a la temperatura de la superficie del agua	2.957'11 KJ/Kg
r_s	Calor latente de vaporización del agua a la temperatura de la superficie del suelo	2.963'43 KJ/Kg
r_p	Calor latente de vaporización del agua a la temperatura del cuerpo humano (35°C)	2.944'33 KJ/Kg
S_w	Superficie del agua del vaso	75 m ²
S_s	Superficie playa mojada	54'5 m ²
S_p	Superficie del cuerpo de las personas mojadas	6'375 m ²
V_w	Velocidad del aire en la superficie del vaso	0,2 m/s
V_s	Velocidad del aire en la playa de la piscina	0,4 m/s
V_p	Velocidad del aire en el cuerpo de las personas	0,4 m/s

Tabla 7. Nomenclatura y condiciones piscina 69m2

- Realización de cálculo en la piscina de 69 m³:

Evaporación del agua superficial del vaso:

$$\dot{m}_w = \omega \cdot \frac{P_w - P_{ro}}{r_w} \cdot S_w = \frac{88.75 - 78.15 \cdot 0.2}{1000} \cdot \frac{2.14 - 1.1361}{2957.11} \cdot 75 = 1.06 \text{ g/s}$$

Evaporación en el suelo mojado de la piscina (playa):

$$\dot{m}_s = \omega \cdot \frac{P_s - P_{ro}}{r_s} \cdot S_s = \frac{88.75 - 78.15 \cdot 0.2}{1000} \cdot \frac{1.168 - 1.1361}{2963.43} \cdot 54.5 = 0.494 \text{ g/s}$$

Evaporación producida por el cuerpo de las personas al salir de la piscina:

$$\dot{m}_p = \omega \cdot \frac{P_p - P_{ro}}{r_p} \cdot S_p = \frac{88.75 - 78.15 \cdot 0.2}{1000} \cdot \frac{3.37 - 1.1361}{2944.33} \cdot 6.375 = 0.371 \text{ g/s}$$

La suma será:

$$\dot{m}_{II} = \dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_p = 1.925 \left(\frac{g}{s} \right)$$

A continuación, realizamos el flujo de agua de ambas piscinas:

$$\dot{m} = \dot{m}_I + \dot{m}_{II} = 15.885 \text{ g/s} = 57.186 \text{ kg/h}$$

Ahora tenemos que calcular el calor total que se pierde, cuando el agua se evapora absorbe calor de la superficie desde donde se evapora, provocando así una bajada en su temperatura.

Este calor se calcula mediante la fórmula:

$$Q (W) = \dot{m} \left(\frac{Kg}{h} \right) \cdot C_v \left(W \cdot \frac{h}{Kg} \right); \text{ donde } C_v = 676 \frac{W \cdot h}{Kg}$$

El calor será:

$$Q = 38.6577 \text{ kW}$$

5.3.2 Renovación del vaso de agua.

En las piscinas climatizadas existen pérdidas continuas de agua, desde el agua evaporada estudiada anteriormente, al agua que se gasta en la limpieza de fondos y filtros. Sin embargo, estas cantidades son muy inferiores al 5% del volumen total de la piscina que obligatoriamente por normativa, 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 de agua de la red y de la temperatura del agua de la piscina que se pretenda alcanzar. El calor que se puede calcular mediante esta expresión matemática:

$$Q_{re} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_W - T_{red})$$

Donde:

Q_{re} = Calor perdido debido al agua de renovación (W·h)

V = Volumen de renovación; 5% del volumen de la piscina.

ρ = Densidad del agua 1000 kg/m³

C_p = Calor específico del agua 1'16 $\frac{W \cdot h}{kg \cdot ^\circ C}$

T_W = Temperatura del agua de la piscina 26°C

T_{red} = Temperatura del agua de la red

La temperatura media del agua de la red en la provincia de Jaén es de 12.3°C y se calcula mediante una tabla:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2 ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3 ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4 ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5 ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6 ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7 BADAJOZ	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8 BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9 BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10 BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11 CACERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12 CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13 CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14 CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15 CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11,3
16 CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17 CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18 LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19 CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20 GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21 GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22 GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23 GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24 HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25 HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26 JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27 LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28 LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29 LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30 MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
31 MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
32 MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
33 MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
34 NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
35 ORENSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,2
36 PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
37 LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
38 PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
39 LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
40 SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
41 STA. C. DE TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
42 SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
43 SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
44 SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
45 TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
46 TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
47 TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
48 VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
49 VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
50 VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
51 ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
52 ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3

Tabla 8. Temperatura del agua de la red

Aplicando la ecuación en nuestro caso, al tener dos piscinas una de 500 m³ y la otra de 59 m³, calculamos el volumen del agua de renovación:

$$V = 0'05 \cdot (69 + 500)m^3 = 28'45 m^3$$

A continuación, acudimos a la fórmula dada para calcular el calor perdido debido a la renovación del agua de ambas piscinas:

$$Q_{re} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_W - T_{red})$$

$$Q_{re} = 28'45 m^3 \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 1'16 \frac{W \cdot h}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (26^\circ C - 12.3^\circ C)$$

$$Q_{re} = 389'765 kW \cdot h/día$$

$$Q_{re} = 16'24 kW$$

5.3.3 Transmisión.

Estas son las pérdidas de calor que son ocasionadas por los cerramientos del vaso de la piscina, debido a la diferencia de temperaturas a ambos lados de la piscina, estas pérdidas están todas expresadas en kW.

Este calor perdido depende de las características constructivas del vaso y el coeficiente de transmisión térmica del material empleado en la construcción de la piscina, en nuestro caso es un cerramiento de hormigón, calculamos el calor perdido mediante la expresión:

$$Q_T = U_C \cdot S_C \cdot (T_W - T_{ext})$$

Donde:

Q_T : Calor por transmisión W.

U_C : Transmitancia del cerramiento W/m² K, para un muro de hormigón 0'53 W/m² K

S_C : Superficie del cerramiento m².

T_W : Temperatura del agua.

T_{ext} : Temperatura detrás del cerramiento.

Para calcular la temperatura del exterior acudimos a la siguiente tabla:

Temperaturas	
En contacto con local climatizado	$T_{ext} = 10^{\circ}C$
En contacto con el exterior	$T_{ext} = 0^{\circ}C$
En contacto con el suelo	$T_{ext} = 15^{\circ}C$

Tabla 9. Temperaturas entorno del polideportivo

- Realización de cálculos para la piscina de 500 m³:

En nuestro caso la piscina tiene 12,5 x 25 m y tiene cuatro superficies en contacto con un local calefactado donde cogemos la temperatura de 10°C, cogemos altura media de la piscina de 1'6 m para calcular las superficies:

En las dos superficies laterales de dimensiones 1'6 x 25 m:

$$Q_T = U_C \cdot S_C \cdot (T_W - T_{ext}) = 0'53 \frac{W}{m^2K} \cdot 2 \cdot 1'6 m \cdot 25 m \cdot (26 - 10)K = 678'4 W$$

En las dos superficies laterales de dimensiones 1'6 x 12'5 m:

$$\begin{aligned} Q_T &= U_C \cdot S_C \cdot (T_W - T_{ext}) = 0'53 \frac{W}{m^2K} \cdot 2 \cdot 1'6 m \cdot 12'5 m \cdot (26 - 10)K \\ &= 339'2 W \end{aligned}$$

Por otro lado hacemos calculamos la superficie en contacto con el suelo:

$$Q_T = U_C \cdot S_C \cdot (T_W - T_{ext}) = 0'53 \frac{W}{m^2K} \cdot (25 \cdot 12'5)m^2 \cdot (26 - 15)K = 1821'9 W$$

Sumando obtenemos:

$$Q_T = 2'8395 kW$$

- Realización de cálculos para la piscina de 69 m³:

En nuestro caso la piscina tiene 12,5 x 6 m y tiene cuatro superficies en contacto con un local calefactado donde cogemos la temperatura de 10°C, cogemos altura media de la piscina de 0'92 m para calcular las superficies:

En las dos superficies laterales de dimensiones 12'5 x 0'92 m:

$$Q_T = U_C \cdot S_C \cdot (T_W - T_{ext}) = 0'53 \frac{W}{m^2 K} \cdot 2 \cdot 0'92 m \cdot 12'5 m \cdot (26 - 10) K \\ = 195'04 W$$

En las dos superficies laterales de dimensiones 6 x 0'92 m:

$$Q_T = U_C \cdot S_C \cdot (T_W - T_{ext}) = 0'53 \frac{W}{m^2 K} \cdot 2 \cdot 6 m \cdot 0'92 m \cdot (26 - 10) K = 93'62 W$$

Por otro lado hacemos calculamos la superficie en contacto con el suelo:

$$Q_T = U_C \cdot S_C \cdot (T_W - T_{ext}) = 0'53 \frac{W}{m^2 K} \cdot (12'5 \cdot 6) m^2 \cdot (26 - 15) K = 39'75 W$$

Sumando obtenemos:

$$Q_T = 0'3284 kW$$

Sumando el calor perdido por las dos piscinas obtenemos:

$$Q_T = 2'8395 + 0'3284 = 3'16791 kW$$

5.3.4 Radiación.

Para calcular este tipo de pérdidas vamos a acudir a la ecuación de Stefan-Boltzman. Esta ecuación depende de la diferencia de temperaturas entre la temperatura media del agua de las piscinas y la de los cerramientos de ambas piscinas.

$$Q_R = S_{pis} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{pis}^4 - T_{rec}^4)$$

Donde:

S_{pis} : Superficie de ambas piscinas 387'5 m².

ε : Emisividad del agua 0'95.

σ : Constante $5'67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$

T_{pis} : Temperatura del agua 299 K.

T_{rec} : Temperatura del recinto 301 K.

Sustituyendo nos queda:

$$Q_R = 4508'55 \text{ W}$$

5.3.5 Convección.

En la convección en una piscina tiene una pequeña particularidad y es que se produce una ganancia en vez de unas pérdidas ya que la temperatura de nuestro polideportivo es superior a la del agua de ambas piscinas. Para ellos acudimos a la siguiente ecuación.

$$Q_C = S_{pis} \cdot 0'6246 \cdot (T_{pis} - T_a)^{4/3}$$

Donde:

S_{pis} : Superficie de ambas piscinas 387'5 m².

T_{pis} : Temperatura del agua de las piscinas 26°C.

T_a : Temperatura del aire 28°C.

Sustituyendo obtenemos:

$$Q_C = - 609'88 \text{ W}$$

Como podemos apreciar las pérdidas de convección y de radiación son casi nulas ya que la temperatura del agua del vaso es muy cercana a la de la del interior del polideportivo. De ahí que muchas veces se consideren nulas.

5.3.6 Resumen pérdidas de calor en el vaso.

A continuación vamos a mostrar de forma gráfica las pérdidas de calor en el vaso de las piscinas:

Pérdidas de calor en el vaso (W)	
Evaporación del agua	38.657'7
Renovación del agua	16.240
Transmisión	3.167'9
Radiación	4.508'55
Convección	-609'88
TOTAL	61.964'27

Tabla 10. Resumen pérdidas de calor del vaso.

Ahora vamos a mostrarlo en un gráfico para que se vea más claro:

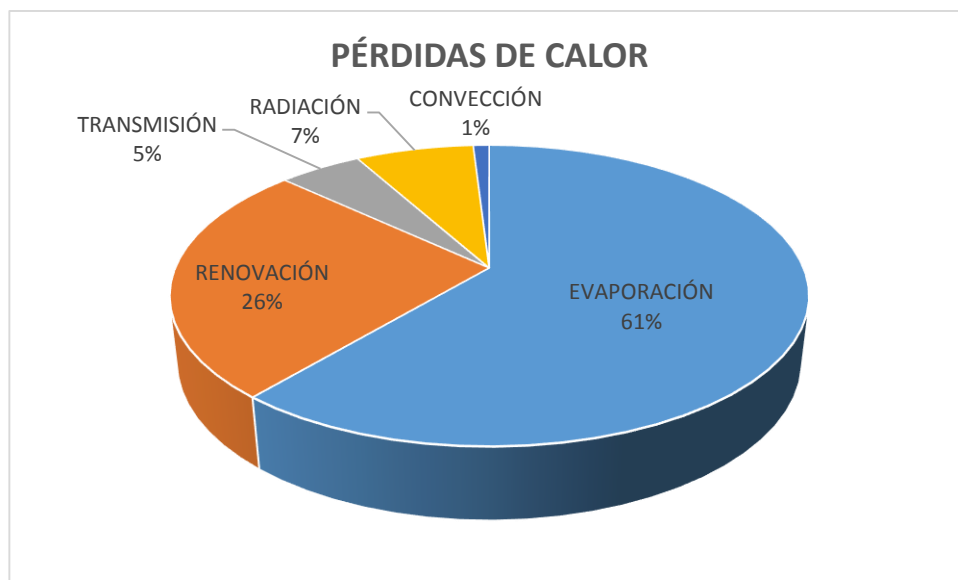


Ilustración 6. Diagrama de pérdidas del vaso

5.4 Necesidades térmicas en el ambiente.

Las piscinas climatizadas necesitan deshumectar el aire del recinto. Para ello vamos a usar una deshumectadora para que así el recinto consiga estar a una humedad relativa del 60%.

La renovación del aire de una piscina tiene que cumplir:

- Mantener las condiciones higiénicas de confort descritos anteriormente.
- Mantener la humedad relativa del 60% en el caso de nuestro polideportivo.

5.4.1 Pérdidas de calor por transmisión.

Estas pérdidas se deben a la arquitectura de la piscina y del coeficiente de transmisión térmica del material utilizado en la construcción de la misma. Es el calor que se intercambia entre el exterior y el interior del edificio por causa de una diferencia de las temperaturas existente en ambos lados de sus cerramientos.

Este calor se calcula mediante:

$$Q_T = U \cdot S \cdot dT \cdot C$$

Donde:

Q_T : Calor por transmisión W

U : Transmitancia del cerramiento $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

S : Superficie del cerramiento m^2

dT : Diferencia de temperaturas

C : Coeficiente conjunto de orientación e interrupción de servicio

En valor de la transmitancia se calcula por el método indicado en el Código Técnico de la Edificación. Valores de U :

Valor de transmitancia	
Muros exteriores y en contacto con el terreno	$0'7 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Suelos	$0'5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Cubiertas	$0'4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Ventanas y lucernarios	$4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

Tabla 11. Valor de transmitancia.

La diferencia de las temperaturas la calculamos desde el interior del polideportivo que son 28°C y el exterior que dependerá de la zona geográfica y esto se obtiene mediante la siguiente tabla:

TABLA 1. CONDICIONES EXTERIORES DE PROYECTO

Ciudad	Condiciones normales Verano		Variación diurna	Condiciones normales Invierno		Vientos dominantes (km/h)	Altitud	Latitud
	Temperatura seca T _{db}	Humedad relativa HR		T _{db}	Días-grado acumulados			
Albacete	35	36	18	- 7	1377	O 12	686	39° 00
Alicante	31	80	13		338	SE 9	7	38° 21
Almería	30	70	8	5	208	OSO 9	65	36° 51
Ávila	30	41	17	- 6	2127	NO 11	1126	40° 39
Badajoz	38	47	17	- 1	767	NO 7	186	38° 53
Barcelona	31	68	8	2	656	S 8,5	95	41° 24
Bilbao	30	71		0	820		32	43° 18
Burgos	30	42	15	- 6	2048	SO 8,5	929	42° 20
Cáceres	38	37	14	- 1	1003	NO -	459	39° 29
Cádiz	32	55	12	2	227	SE 20	28	36° 28
Castellón	29	60	9	4	452	NO 3	27	39° 59
Ciudad Real	37	56	20	- 4	1312	SO 4	628	38° 59
Córdoba	38	33	17	- 1	662	SO 5	128	37° 53
Coruña	23	63	9	2	827	SO 18	54	43° 22
Cuenca	33	52	18	- 7	828	O -	949	40° 05
Gerona	33	58	10	- 3	939	S 5	95	41° 59
Granada	36	49	18	- 2	1042	O 4	775	37° 11
Guadalajara	34	37	- 4		1469		1017	40° 38
Huelva	31	57	14	1	402	SO -	4	37° 16
Huesca	31	72	15	- 5	1350	calma -	488	42° 08
J León	36	35	14	0	830	SO 5	586	37° 46
Las Palmas	24	66	4	15	0	NE 9	6	28° 11
León	28	45	16	- 6	2143	NO 8	908	42° 35
Lérida	33	50	14	- 5	1226		323	41° 41
Logroño	33	59	14	- 3	1405	NO -	380	42° 28
Lugo	26	67	14	- 2	1771	NE 12	465	43° 00
Madrid	34	43	15	- 3	1405	NE 10	667	40° 25
Málaga	28	60	6	13	248	S 7	40	36° 43
Murcia	36	59	14	- 1	432	SO -	42	37° 59
Orense				- 3	967			
Oviedo	26	70		- 2	1200	NE -	232	43° 22
Palencia	30	45	16	- 6	1781	NE -	734	42° 00
Palma de Mallorca	28	63	8	4	527	varia 9	28	39° 34
Pamplona	32	51	12	- 5	1535	N 8	734	42° 00
Pontevedra	27	62	12	0	871	N 12	19	42° 26
Salamanca	34	46	18	- 7	1662	O -	803	40° 58
Santander	25	74	7	2	724	O 20	69	43° 28
San Sebastián	22	76	7	- 1	913	S 17	181	43° 19
Santa Cruz de Tenerife	22	55	8	15	0	N 18	37	28° 28
Segovia	33	35	17	- 6	1866	O -	1002	40° 57
Sevilla	40	43	18	1	438	SO -	30	37° 23
Soria	29	45	18	- 7	1978	varia 15	1063	41° 46
Tarragona	26	68	7	1	626	S 5	60	41° 07
Teruel	32			- 8	1802		915	40° 21
Toledo	34	34	16	- 4	158	E 5	540	39° 51
Valencia	32	68	11,4	0	516	O 10	10	39° 29
Valladolid	33	45	13	- 5	1709	SO 10	694	41° 39
Vitoria	26	70	13	- 4	1560	NE -	542	42° 51
Zamora	32	65	18	- 6	1501	O 11	649	41° 30
Zaragoza	34	57	14	- 3	1151	NO 15	200	41° 39

Tabla 12. Temperaturas exteriores

Para calcular las pérdidas de calor por transmisión es importante saber la orientación del polideportivo del estudio y éste está orientado de la siguiente manera:



Tabla 13. Ubicación y orientación de polideportivo.

Más tarde hay que calcular un coeficiente que depende de la orientación de la instalación. El coeficiente C se calcula mediante la siguiente tabla:

Orientacion	Muros	Ventanas
Noroeste (NO)	1'475	1'45
Noreste (NE)	1'55	1'525
Sureste (SE)	1'375	1'35
Suroeste (SO)	1'3	1'25

Tabla 14. Coeficiente C según orientación de la instalación.

Con toda la información realizamos el cálculo:

$$Q_T = U \cdot S \cdot dT \cdot C$$

- Noroeste (NO):
 - **Muros:** $0'7 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 35 m \cdot 0'9 \cdot 10 m \cdot 18 ^\circ C \cdot 1'45 = 5755'05 W$
 - **Ventanas:** $4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 35 m \cdot 0'1 \cdot 10 m \cdot 18 ^\circ C \cdot 1'45 = 3658 W$
 - Noreste (NE):
 - **Muros:** $0'7 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 20 m \cdot 0'9 \cdot 10 m \cdot 18 ^\circ C \cdot 1'55 = 3515'4 W$
 - **Ventanas:** $4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 20 m \cdot 0'1 \cdot 10 m \cdot 18 ^\circ C \cdot 1'525 = 2088 W$
 - Sureste (SE):
 - **Muros:** $0'7 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 35 m \cdot 0'9 \cdot 10 m \cdot 18 ^\circ C \cdot 1'375 = 5457'375 W$
 - **Ventanas:** $4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 35 m \cdot 0'1 \cdot 10 m \cdot 18 ^\circ C \cdot 1'35 = 3402 W$
 - Suroeste (SO):
 - **Muros:** $0'7 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 20 m \cdot 0'9 \cdot 10 m \cdot 18 ^\circ C \cdot 1'3 = 2948'4 W$
 - **Ventanas:** $4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 20 m \cdot 0'1 \cdot 10 m \cdot 18 ^\circ C \cdot 1'25 = 2025 W$
 - **Suelo:** $0'5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 20 m \cdot 35 m - (12'5 m \cdot 25 m) - (12'5 m \cdot 6 m) \cdot 13 = 4162'5 W$
 - **Techo:** $0'4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 35 m \cdot 20 m \cdot 18 = 5040 W$
- TOTAL: $Q_T = 38'05 kW$**

5.4.2 Pérdidas de calor por ventilación.

La ventilación del aire se realiza para asegurarnos que el aire de dentro del recinto es de una calidad aceptable, debido a esta ventilación se introduce aire del exterior y retirar parte del aire del interior del polideportivo, asegurando una recirculación y renovación del aire, esto siempre será desfavorable para el cálculo de cargas, ya que retira el aire en condiciones de confort por aire del exterior en condiciones más desfavorables.

El calor perdido por esta ventilación se manifiesta de dos maneras:

Calor sensible: las pérdidas de calor sensible se produce por la diferencias de temperaturas entre el aire del exterior y la temperatura interior del polideportivo. Se calcula mediante la expresión:

$$Q_{Sv} = \dot{m} \cdot Cp \cdot dT$$

Donde:

Q_{Sv} : Calor sensible de ventilación W

$\dot{m}$: Caudal de ventilación m^3/h

C_p : Calor específico del aire $0'33 \frac{\text{W} \cdot \text{h}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$

dT : Diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior.

Para el cálculo del caudal de ventilación $\dot{m}$ el aire viene fijado por el RITE, en nuestro caso para piscinas cubiertas, se tomará un caudal de $2'5 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$

El caudal de ventilación $\dot{m} = 2'5 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \cdot (20 \text{ m} \cdot 35 \text{ m}) = 6300 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

El calor sensible:

$$Q_{sv} = \dot{m} \cdot C_p \cdot dT = 6300 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0'33 \frac{\text{W} \cdot \text{h}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 18^\circ\text{C} = \mathbf{37'422 \text{ kW}}$$

Calor latente: se produce por la diferencia de humedad entre el aire exterior y el aire interior del polideportivo. Esto se calcula mediante la expresión:

$$Q_{Lv} = \dot{m} \cdot Q_L \cdot dH$$

Donde:

Q_{Lv} : Calor latente de ventilación W

$\dot{m}$: Caudal de ventilación m^3/h

Q_L : Calor latente de cambio de estado $0'72 \text{ W/g}$

dH : Diferencia de humedad absoluta entre el exterior y el interior g/kg.

Para el cálculo de la humedad absoluta recurrimos al diagrama psicrométrico:

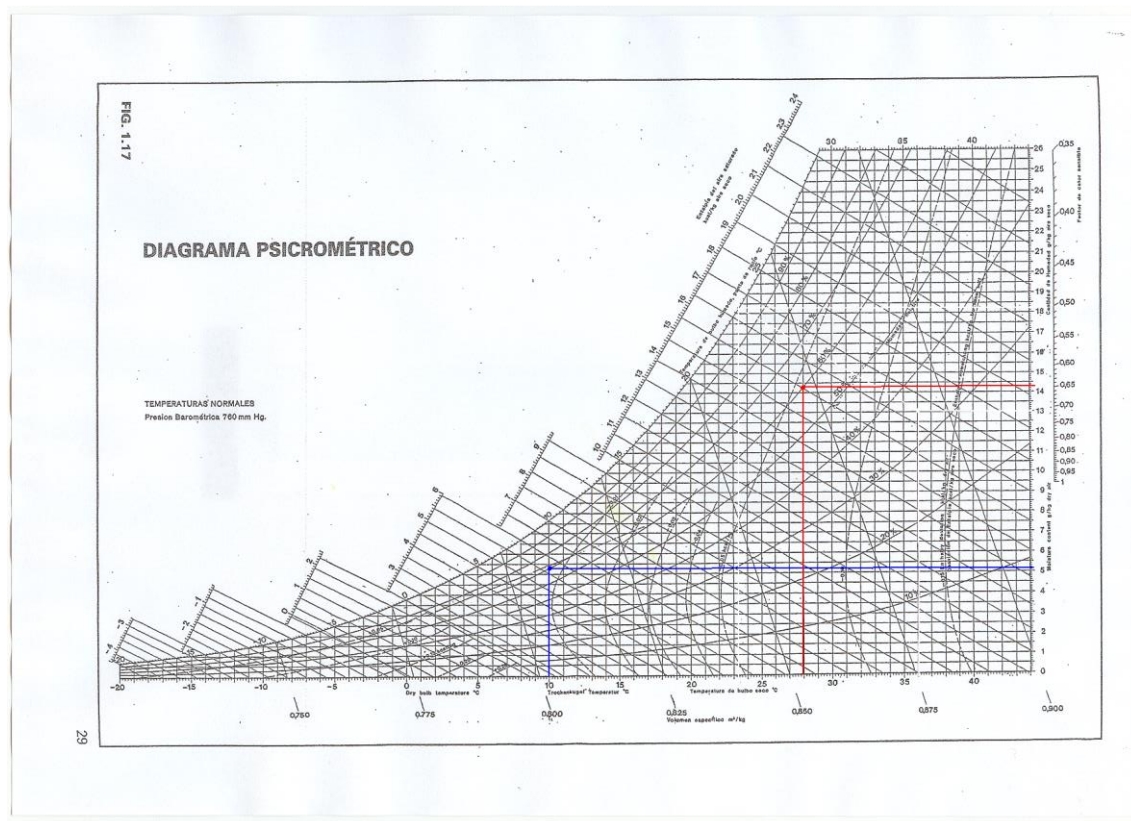


Ilustración 7. Diagrama psicrométrico.

En nuestro caso vamos a suponer la misma humedad tanto en el interior del recinto como en el exterior, con lo cual el calor latente por ventilación será nulo.

Vamos a obtener el total de pérdidas de calor tanto de ventilación como de transmisión, esta será la suma de ambas:

Necesidades térmicas del ambiente	(kW)
Pérdidas por transmisión	38'05
Pérdidas por ventilación	37'422
TOTAL DE PÉRDIDAS	75'472

Tabla 15. Resumen de pérdidas de calor del ambiente.

5.5 Agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda energética por consumo de ACS.

Para calcular el caudal de agua caliente sanitaria que vamos a necesitar en nuestra instalación, se han tomado los valores propuestos por el

Código Técnico de la Edificación, en su apartado de calidad del suministro (DB HS: Salubridad) donde:

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm³/s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm³/s]
Lavabo	0'10	0'065
Ducha	0'20	0'10
Inodoro	0'10	-

Tabla 16. Caudal instantáneo según CTE.

En nuestro centro deportivo hay:

- 4 Lavabos
- 12 Duchas
- 4 inodoros

Sumamos todos los caudales y el caudal total de ACS es de:

$$\dot{m} = 1'46 \frac{l}{s}$$

La temperatura media del agua de la red en la provincia de Jaén es de 12.3°C, y consideramos una temperatura del ACS de 40°C, la transferencia de calor viene dada por:

$$Q_{ACS} = \dot{m} \cdot C_e \cdot (T_{ACS} - T_{red})$$

Donde $C_e = 4'18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$

Sustituyendo en la ecuación tenemos:

$$Q_{ACS} = 139 \text{ kW}$$

Los puntos de la norma a tener en cuenta en nuestro polideportivo para el cálculo de ACS aparece en la siguiente tabla:

CRITERIO DE DEMANDA	LITROS DIA ACS A 60 GRADOS
Viviendas unifamiliares	30 por persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona
Hospitales y clínicas	55 por cama
Hotel ****	70 por cama
Hotel ***	55 por cama
Hotel/Hostal **	40 por cama
Camping	40 por emplazamiento
Hostal/Pensión*	35 por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55 por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15 por servicio
Escuelas	3 por alumno
Cuarteles	20 por persona
Fábricas y talleres	15 por persona
Administrativos	3 por persona
Gimnasios	20 a 25 por usuario
Lavanderías	3 a 5 por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10 por comida
Cafeterías	1 por almuerzo

Tabla 17. Demanda de ACS según código técnico de la edificación

Como apreciamos hace referencia al gasto realizado en Vestuarios/Duchas colectivas, el cual será el que empleamos para nuestro cálculo de ACS necesaria para el vestuario de nuestro polideportivo.

Se deberán tener en cuenta las pérdidas caloríficas en la distribución y redistribución del agua a los puntos de consumo.

Para el cálculo de la contribución solar anual, se estimaran demandas mensuales tomando en consideración el número de bañistas y servicios correspondientes a la ocupación plena del recinto.

Como sabemos en el CTE se dan criterios para climatizar las piscinas. En nuestro caso la temperatura en el ambiente serán de 28°C, la temperatura de ambas piscinas es de 26°C y una humedad relativa del 60%.

Con lo cual en nuestras instalaciones tenemos instalados 6 duchas en el vestuario de chicos y otras 6 en el de chicas, lo que hacen un total de 12 duchas, dado a que el volumen de usuarios que puede llegar a recibir en un día es muy elevado tomaremos como 90 servicios a diario con lo cual:

$$90 \text{ servicios} \cdot 15 \frac{\text{litros}}{\text{servicio}} = \mathbf{1.350 \text{ litros de ACS a } 60^{\circ}\text{C}}$$

El polideportivo posee un depósito de acumulación de ACS de 4000 litros.

5.6 Deshumidificador.

Este aparato consiste en retirar el vapor de agua contenido en el aire, hay muchas formas para quitar esta humedad, en nuestro polideportivo se realiza mediante enfriamiento del aire hasta alcanzar una temperatura por debajo del punto de rocío.

Para ello lo más común es el uso de una bomba de calor deshumectadora con recuperación de calor al aire o al agua. Esta bomba tiene que satisfacer el reglamento RITE vigente y por ello se han desarrollado unas bombas de calor de dos y tres ciclos que satisfacen la reglamentación actual y mejoran en su gran ahorro energético (cerca de un 30% al final de un año).

Nuestra piscina tiene una bomba de calor de tres ciclos que es la adecuada para grandes centros deportivos como el que estamos tratando.

- El primer ciclo: se realiza haciendo pasar aire del recinto a través del caloducto donde llegará al punto de rocío. Tras salir del evaporador se ha realizado la deshumidificación por enfriamiento y condensación del vapor de agua.
- El segundo ciclo: se realiza en función de la temperatura exterior. Se introduce una mezcla de aire nuevo y de retorno. Esta mezcla es calentada por el conducto y después por el condensador por la recuperación del aire. Si el calor disponible no es suficiente, se añade una aportación de calor al aire de impulsión hasta alcanzar la temperatura del recinto. El excedente calor es aportado mediante un intercambiador de calor.
- El tercer ciclo: se asocia al caloducto, consiste en la modulación del aire exterior para procurar un mínimo de funcionamiento de los compresores. Esto proporciona un gran ahorro energético.

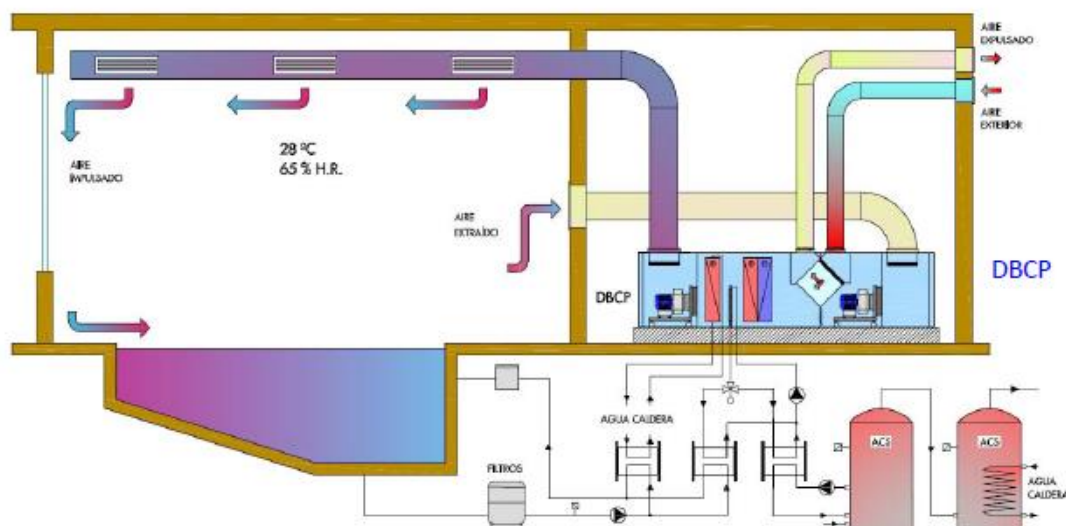


Ilustración 8. Funcionamiento de bomba de calor

En nuestro recinto se encuentra una bomba de calor de tres ciclos TRIPACK 112, cuyo caudal a deshumectar en el recinto es de 12.000m³/h, cuyas potencia nominal es:

POTENCIA NOMINAL	
Refrigeración	113 kW
Calefacción	124'8 kW
A.C.S	160 kW

Tabla 18. Características de bomba de calor

5.7 Iluminación.

El polideportivo del estudio dispone de una iluminación convencional que consiste en las siguientes luminarias:

- 14 equipos Downlight de 2 x 26 W, más un 35% de reactancia con un consumo unitario de **70'2 W**.
- 340 Tubos fluorescentes de 60 cm, 18 W, más un 35% de reactancia con un consumo unitario de 24'3W.

$$Potencia\ Contratada = 14\ Equipos \cdot 70'2W + 340\ Tubos \cdot 24'3W = 9.240\ W$$

Este recinto tiene una potencia contratada de **9.240 W**.

Habida cuenta el horario de funcionamiento de cada luminaria y la potencia de cada una de las bombillas (incluida su reactancia), el consumo energético anual relativo al alumbrado de la misma asciende a **19.759'33 kW·h**.

6 SOLAR TÉRMICA. CONDICIONES GENERALES DE LA INSTALACIÓN SOLAR.

6.1 Definición.

La instalación solar térmica está formada por componentes que realizan las funciones de transformar la radiación solar en energía térmica cediéndola a un flujo de trabajo y almacenar esta energía de forma eficiente, en los captadores o bien transfiriéndola a otro equipo para más tarde poder consumir dicha energía.

Los sistemas que forman la instalación solar térmica para la producción de agua caliente son los siguientes:

- Un sistema formado por captadores solares, que será el que transforme la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se caliente el fluido de trabajo que circula por ellos.
- Un sistema de acumulación constituido por varios depósitos que almacenan el agua caliente hasta que sea necesaria.
- Un circuito hidráulico formado por una red de tuberías, encargado de establecer el movimiento del fluido caliente hasta el sistema de acumulación.
- Un sistema de intercambio que realizara la transferencia de la energía térmica captada desde el circuito de captadores, o circuito primario, al agua caliente que se consume.
- Un sistema de control y regulación que nos proporcionara el correcto funcionamiento del equipo para obtener la máxima energía solar térmica posible.
- Adicionalmente se dispone de un equipo de energía convencional auxiliar que se utiliza para suministrar la energía necesaria para cubrir la demanda agua caliente prevista por el polideportivo.

El objetivo del sistema solar es suministrar una instalación:

- Ahorre energía.
- Garantice durabilidad y calidad.
- Garantice uso seguro de la misma.

6.2 Criterios generales de cálculo empleados en este estudio.

6.2.1 Condiciones iniciales.

Para cada zona climática y distintos niveles de demanda de ACS a una temperatura de 60°C, la contribución solar mínima será dividida en:

- General: Suponemos que la fuente de energía de apoyo es el gasóleo C, gas natural, biomasa entre otras.
- Efecto Joule: La fuente energética de apoyo es la electricidad.
- Piscinas cubiertas: por las características de estas instalaciones, no se tiene en cuenta la fuente energética de apoyo pero si la demanda realizada por la instalación. El desglose de contribución mínima solar es el siguiente según el código técnico de la edificación es el siguiente:

	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
Piscinas	30	30	50	60	70
Cubiertas					

Tabla 19. Contribución mínima solar según CTE en piscinas climatizadas.

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, que se obtienen a partir de los valores mensuales.

6.2.2 Zonas climáticas.

Para fijar los valores de contribución mínima solar anual hemos de acudir a una tabla.

En la siguiente tabla y gráfica, se marcan los límites de zonas homogéneas a efectos de la exigencia. Esto ha sido definido teniendo en cuenta la radiación solar global media anual sobre la superficie horizontal (H), tomando los intervalos que se relacionan para cada una de las zonas como se indica:

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	$H < 13'7$	$H < 3'8$
II	$13'7 \leq H < 15'1$	$3'8 \leq 4'2$
III	$15'1 \leq H < 16'6$	$4'2 \leq H < 4'6$
IV	$16'6 \leq H < 18'0$	$4'6 \leq H < 5'0$
V	$H \geq 18'0$	$H \geq 5'0$

Tabla 20. Valores de contribución solar mínima.

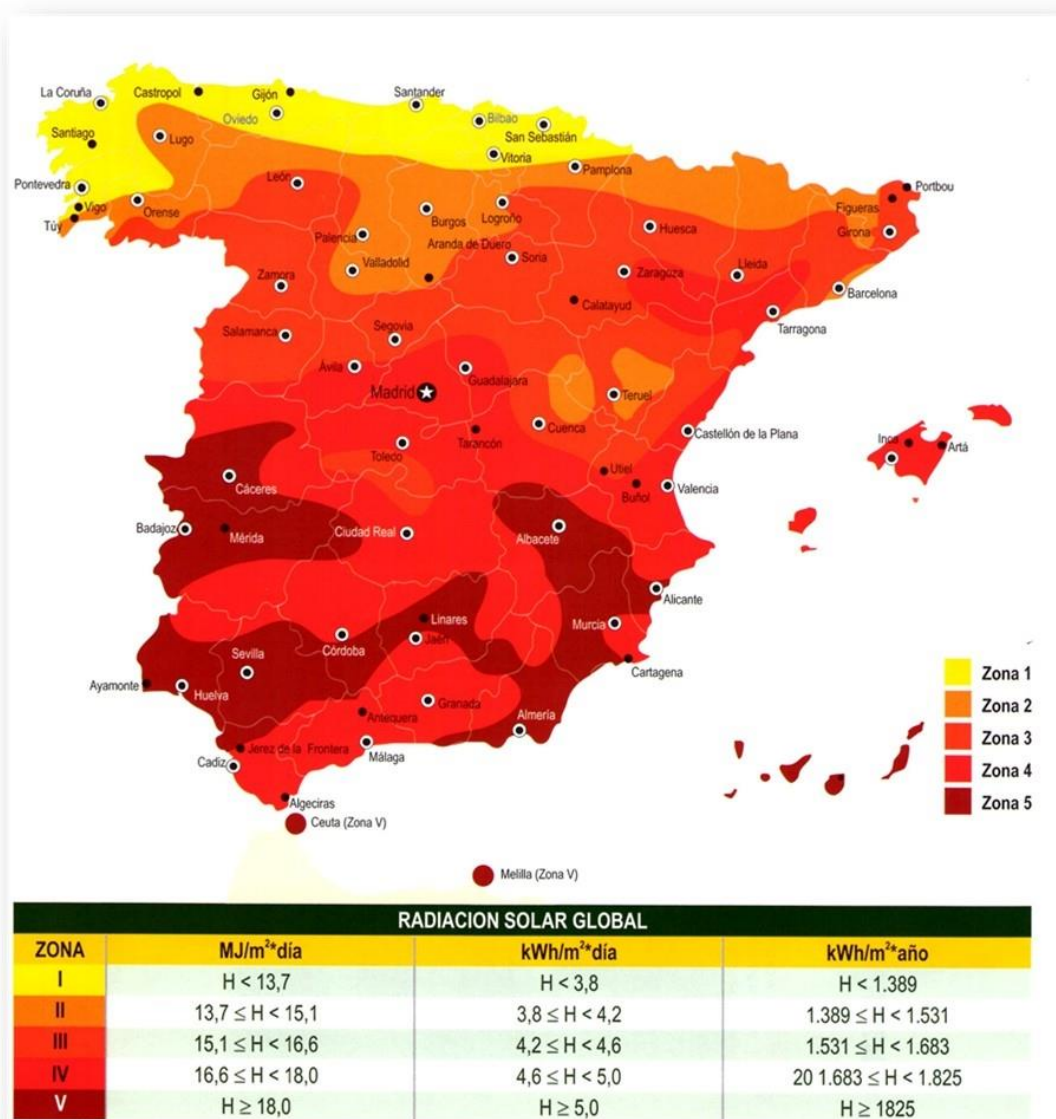


Ilustración 9. Contribución solar mínima según zona climática.

En nuestro caso al tratarse a de La Carolina nuestra zona climática pertenece al grupo IV.

6.2.3 Sistemas de captación.

1) Generalidades

- El captador seleccionado deberá poseer la certificación emitida por el organismo competente según lo regulado en el RD 891/1980 de 14 de Abril.
- Se recomienda que todos los captadores sean del mismo modelo.

- c. En sistemas de producción exclusivamente de ACS mediante energía solar se recomienda que tengan un coeficiente global de pérdidas menor de $10 \text{ Wm}^2/^{\circ}\text{C}$
- 2) Conexionado
 - a. Es importante prestar atención a la estanqueidad y durabilidad del captador.
 - b. Los captadores se pondrán en fila normalmente por el mismo número de elementos.
 - c. Dentro de cada fila los captadores se podrán colocar en serie o en paralelo. En número de captadores que se podrán colocar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante. En el caso exclusivamente de ACS se podrán colocar en paralelo hasta 6 m^2 en zonas climáticas IV.
- 3) Estructura soporte
 - a. Se aplicará la estructura según nos indica el CTE en cuanto a seguridad.
 - b. El cálculo y construcción de la estructura permitirá ciertas dilataciones térmicas.
 - c. No se permiten flexiones del captador superiores a las que indica el fabricante.

6.2.4 Sistema de acumulación solar.

- 1) Generalidades.
 - a. El sistema se debe concebir en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia de los captadores, se debe prever una acumulación acorde a la demanda.
 - b. Para la aplicación de ACS, el área de los captadores tendrá un valor tan que cumpla:

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

Donde:

A: Suma de áreas de captadores m^2 .

V: Volumen del depósito de acumulación en litros.

- c. El sistema de acumulación estará formado preferentemente por un solo depósito vertical en zonas interiores del polideportivo. Debe prevenirse la legionelosis.

6.2.5 Dimensionado básico del campo de captación solar.

Para el dimensionado básico de la instalación solar que da cobertura a la instalación de ACS se hará uso del método de las curvas f (F-Chart) recomendado por el I.D.A.E.

En cuanto a la instalación y para el calentamiento del agua de la piscina, y dado que está prohibido el uso de acumulación, base en la que se cimenta F-Chart, haremos los cálculos completos del aporte de los paneles.

En una instalación de energía solar, el rendimiento del captador, debe ser siempre igual o superior al 40%.

6.2.1.5 Rendimiento de los colectores solares térmicos.

Los intercambios energéticos de un captador solar son:

- Pérdidas ópticas: por reflectividad, del 4-6% de la irradiancia incidente, dependiendo del tipo de vidrio.
- Pérdidas térmicas: Son las mayores pérdidas térmicas en un captador solar se producen por la cara anterior en un 80% del total de todas las pérdidas, el resto se pierde por la cara posterior y laterales.
- Índice de efectividad de un material (α/ε): valora la calidad de una superficie con relación a sus propiedades respecto a la radiación solar. Este valor debe ser lo más alto posible entre 13 y 15 para materiales de energía solar térmica.

A partir del CTE conocemos el rendimiento de un captador solar térmico. El rendimiento de un captador solar térmico, es el cociente entre energía absorbida y energía solar incidente, depende de la diferencia de temperaturas entre el absorbedor y el ambiente. Es rendimiento es mayor cuanto mayor sea la irradiancia solar.

El rendimiento instantáneo de un colector viene dado por:

$$\eta = \frac{\text{Energía captada}}{\text{Energía recibida}} = \frac{Q}{S \cdot I}$$

Donde:

S: Superficie del colector m².

I: Radiación incidente total sobre el colector por unidad de superficie (W/m²).

Q: Energía útil, la recogida por el fluido caloportador.

Para cada colector, esta expresión da lugar a la ecuación de la curva característica del colector (ecuación de Bliss):

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{\Delta T}{I}$$

Donde:

$\eta_0 = F_R \cdot (T \cdot \alpha)_N$: ordenada en el origen del factor óptico.

k_1 : Coeficiente global lineal de pérdidas térmicas (W/m²·K)

$\Delta T/I = (t_m^0 - t_a^0)/I$ variable representada en eje abcisas.

El factor FR está comprendido entre 0 y 1 ajusta ya los valores de la ecuación del rendimiento para que t_m^0 pueda considerarse al temperatura del fluido caloportador en la placa absorbadora y no la temperatura media de la placa.

Si aumenta la temperatura en el absorbador aumenta el error cometido utilizado para el cálculo de las pérdidas térmicas en una expresión lineal.

Para temperaturas altas en el absorbador, al aumentar las pérdidas térmicas por radiación, es recomendable hacer uso de la expresión cuadrática para poder calcular las pérdidas térmicas globales. La ecuación de la curva del adaptador sería:

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{\Delta T}{I} - k_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{I}$$

Donde:

k_1 : Coeficiente global lineal de pérdidas térmicas (W/m²·K)

k_2 : Coeficiente global cuadrático de pérdidas térmicas (W/m²·K²)

Haciendo $k = k_1 + k_2 \cdot \Delta T$ la expresión del rendimiento del captador sería:

$$\eta = \eta_0 - k \cdot \frac{\Delta T}{I}$$

Donde:

$\eta_0 = F_R \cdot (T \cdot \alpha)_N$: ordenada en el origen del factor óptico.

k : Coeficiente global lineal de pérdidas térmicas (W/m²·K)

La ecuación de la recta dada antes puede ser escrita, simplificando la notación, de la forma siguiente:

$$\eta = b - m \cdot x$$

Donde:

$m = U_L$ pendiente o coeficiente global de pérdidas.

$b = F_R \cdot (T \cdot \alpha)_N$: ordenada en el origen del o factor óptico.

$x = (t_m^0 - t_a^0)/I$: variable representada en eje abcisas.

6.2.5.2 Método F-Chart.

Para dimensionado de nuestra instalación de energía solar térmica se sugiere el método F-Chart o método de las curvas. Con este método podemos calcular la cobertura solar de un sistema, es decir, su contribución al calor total para cubrir parte de las necesidades térmicas del polideportivo, y también conocer su rendimiento en un periodo de tiempo determinado.

Este método utiliza datos mensuales medios meteorológicos, y es válido para determinar el factor de cobertura solar o el rendimiento en las instalaciones de cualquier tipo de edificios mediante captadores planos.

Este método identifica unas variables adimensionales del sistema de calentamiento solar y utiliza la simulación de funcionamiento mediante un ordenador, para así dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema para un cierto periodo de tiempo, mediante la utilización de esta ecuación:

$$f = 1'029 \cdot D_1 - 0'065 \cdot D_2 - 0,245 \cdot D_1^2 - 0'0018 \cdot D_2^2 + 0'015 \cdot D_1^3$$

La secuencia que se sigue para el cálculo es la siguiente.

- 1) Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de ACS o calefacción.
- 2) Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada de captadores.
- 3) Cálculo de D_1 .
- 4) Cálculo de D_2 .
- 5) Determinación de la gráfica f .
- 6) Valoración de cobertura solar mensual.
- 7) Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

En primer lugar, las cargas caloríficas determinan la cantidad de calor necesaria mensual para calentar el agua destinada al consumo doméstico, calculándose mediante la siguiente expresión:

$$Q_a = C_e \cdot C \cdot N \cdot \rho \cdot (t_{ac} - t_r)$$

Donde:

Q_a : Carga calorífica mensual de calentamiento ACS (J/mes)

C_e : Calor específico del agua 4187 J/(kg°C)

C : Consumo diario de ACS (l/día)

N : Número de días al mes.

t_{ac} : Temperatura del agua caliente de acumulación (°C)

t_r : Temperatura del agua de la red (°C)

El parámetro D_1 expresa la relación entre la energía absorbida por el captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes:

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

La energía absorbida por el captador viene dada por:

$$E_a = S_c \cdot F'_r \cdot (\tau \cdot \alpha) \cdot R_1 \cdot N$$

Donde:

S_c : Superficie del captador (m²)

R_1 : Radiación diaria media mensual incidente sobre superficie de captación por unidad de área (kJ/m²)

N : Número de días del mes.

$F'_r \cdot (\tau \cdot \alpha)$: Factor adimensional.

El parámetro D_2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

La energía perdida por el captador viene dada por:

$$E_p = S_c \cdot F_r' \cdot U_L \cdot (100 - t_a) \Delta t K_1 K_2$$

Donde:

S_c : Superficie del captador (m^2)

t_a : Temperatura media mensual del ambiente.

Δt : Periodo de tiempo considerado (s)

K_1 : Factor de corrección por almacenamiento está comprendido entre 37'5 y 300.

K_2 : Factor de corrección para ACS que relaciona la temperatura mínima de la red con la media mensual ambiente.

Una vez obtenidos D_1 y D_2 , aplicando la ecuación inicial se calcula la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar.

La energía útil al mes tiene el valor:

$$Q_u = f Q_a$$

Donde:

Q_a : Carga calorífica mensual de ACS

Durante un proceso operativo se operará para todos los meses del año. La suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, determinará la cobertura anual:

$$Cobertura\ anual = \sum_{u=1}^{u=12} Q_u / \sum_{a=1}^{a=12} Q_a$$

6.2.5.3 Cálculo de pérdidas por orientación e inclinación.

1) Generalidades.

- a. El objeto es determinar los límites en la orientación e inclinación de los captadores.
 - b. Las pérdidas se calcularán en función de:
- Ángulo de inclinación β , es el ángulo que forma la superficie de los módulos con su horizontal (0° para módulos horizontales).

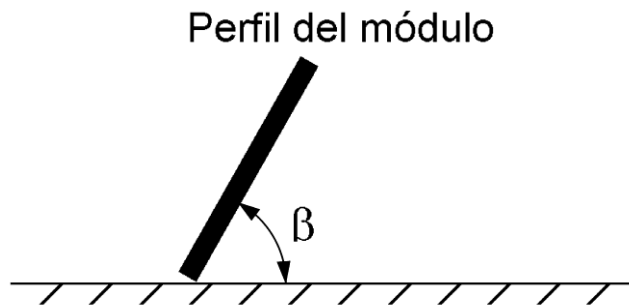


Ilustración 10. ángulo Beta en placas solares

- Ángulo de acimut α , es el ángulo que hay entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal y el meridiano del lugar (0° orientación sur).

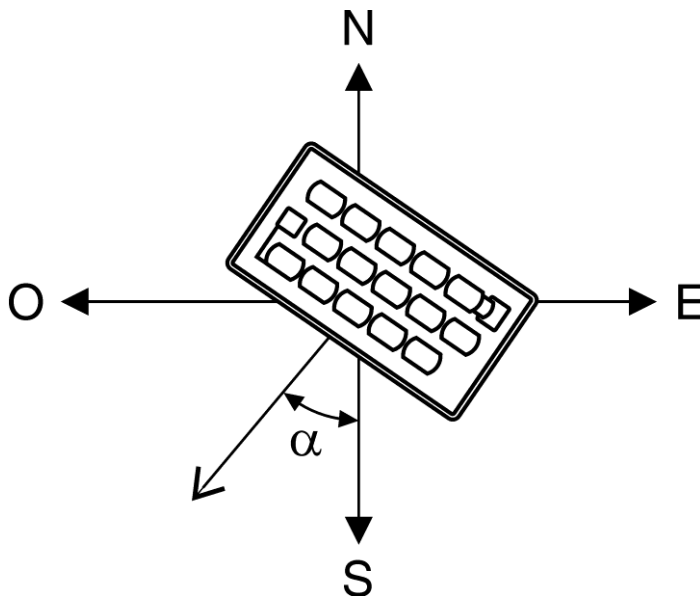


Ilustración 11. Ángulo acimut en placas solares.

2) Procedimiento.

a. Determinado el ángulo α , se calculan los límites de inclinación

Tabla 2.2 Pérdidas límite

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

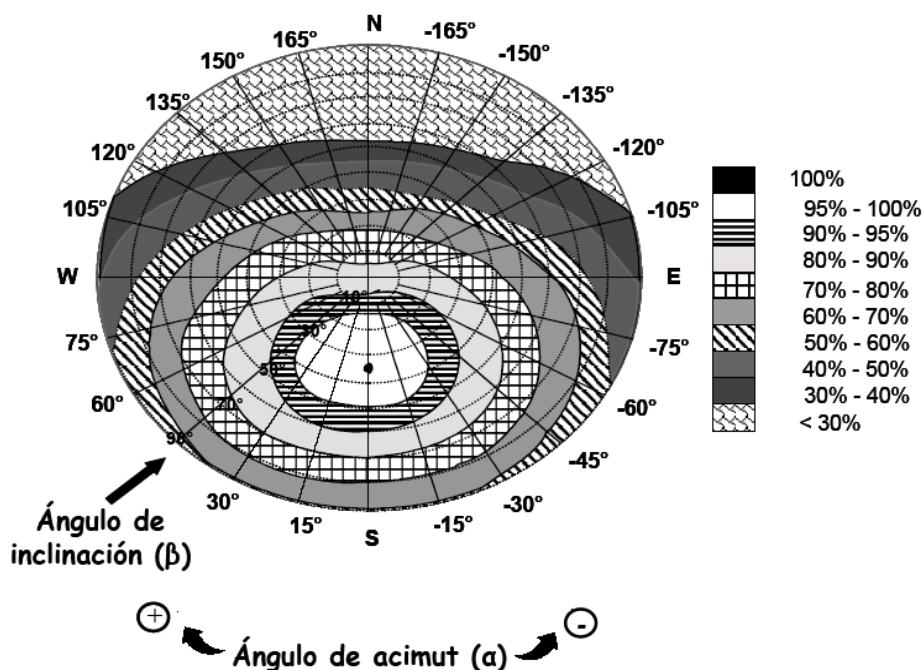
b. Se corregirán los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de 38° , de acuerdo a:

- Inclinación máxima = inclinación ($\phi = 38^\circ$) – ($38^\circ \cdot \text{latitud}$)
- Inclinación mínima = inclinación ($\phi = 38^\circ$) – ($38^\circ \cdot \text{latitud}$), siendo 5 su valor mínimo.

c. En casos cerca del límite se usa las siguientes fórmulas:

Valores entre $15^\circ < \beta < 90^\circ$

$$\text{Pérdidas}(\%) = 100 \cdot [12000 \cdot (\beta - \phi + 10)^2 + 3'5 \cdot 10^{-5} \alpha^2]$$



6.3 Resultados.

6.3.1 Definición de condiciones.

Debido a la situación de nuestro polideportivo disponemos de una cubierta donde poder ubicar las placas solares sobre ella. Para un correcto desarrollo tenemos en cuenta:

- En la sección HE4 del CTE se define la contribución solar mínima de ACS para cada instalación por lo que pasará a ser base de nuestro estudio.
 - ✓ Obtención de la contribución solar mínima.
 - ✓ Cumplimiento de las condiciones de diseño y dimensionado.
 - ✓ Cumplimiento de las condiciones de mantenimiento.

6.3.2 Tablas de resultados.

Ayudándonos de una tabla de cálculo podemos calcular todo lo anterior expuesto.

Trabajamos con las radiaciones incidentes sobre las superficies inclinadas. También se tendrán en cuenta en todo momento las temperaturas medias del agua de la red, del ambiente en horas de sol, radiaciones horizontales e inclinadas todo ello de forma mensual.

➤ Captadores solares para cálculo de ACS:

DATOS GEOGRÁFICOS Y CLIMATOLÓGICOS

Provincia/Localidad:	Jaén
Zona Climática	IV
Radiación solar global [MJ/m ²]	16,6≤H≤18,0
Latitud de cálculo:	37,77
Latitud [°/min.]:	37,46
Altitud [m]:	0,00
Humedad relativa media [%]:	35,00
Velocidad media del viento [Km/h]:	5,00
Temperatura máxima en verano [°C]:	36,00
Temperatura mínima en invierno [°C]:	0,00
Variación diurna:	14,00
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	791
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	830

Tabla 21. Datos geográficos y climatológicos de Jaén.

A través del Instituto Nacional de Meteorología obtenemos:

- Valores mensuales medios de temperatura de la red de agua y temperatura ambiente en Jaén:

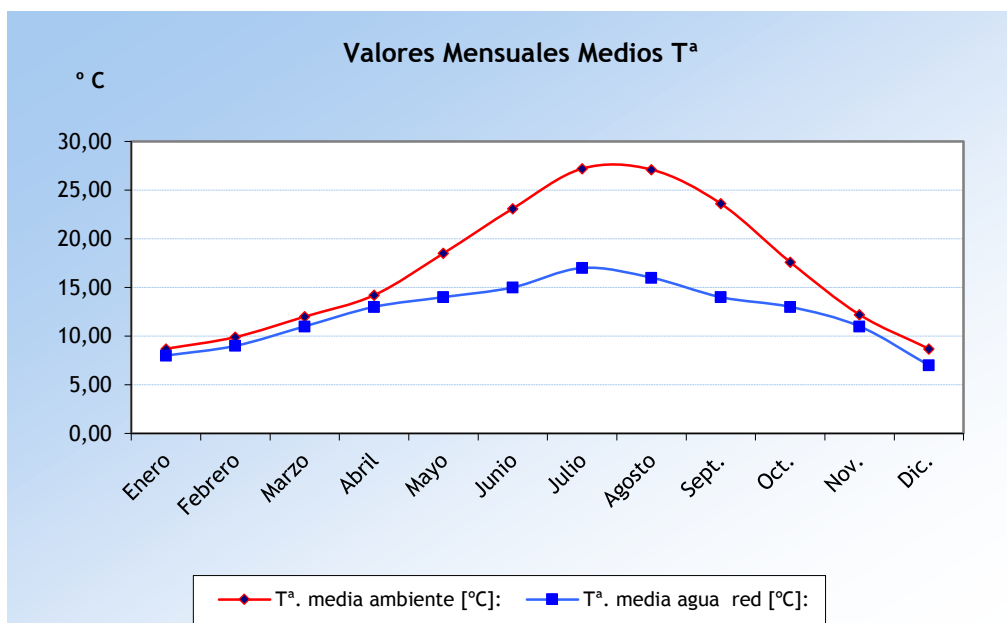


Ilustración 12. Valores de temperatura de la red de agua y ambiente

- Valores mensuales de radiación solar en Jaén:

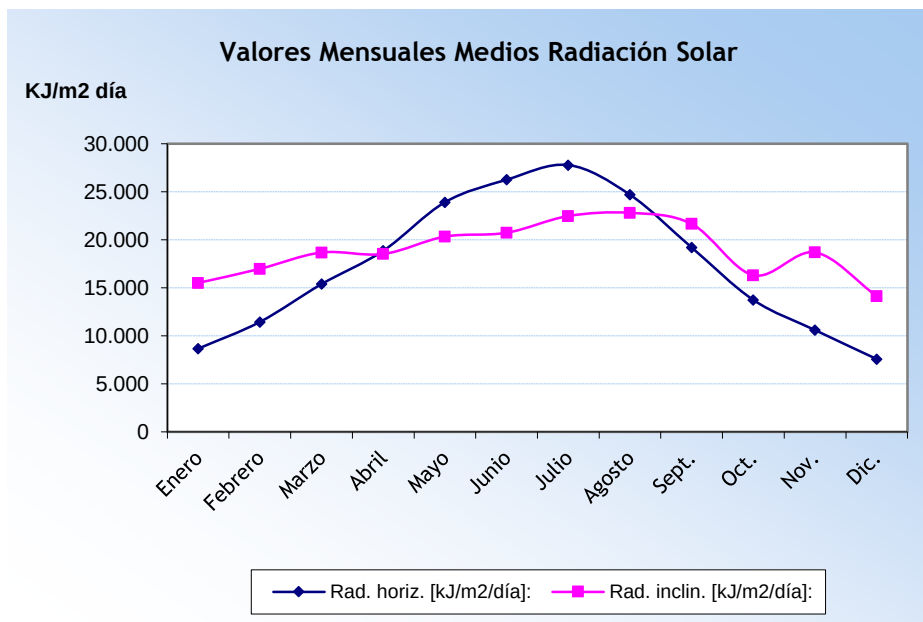


Ilustración 13. Valores radiación solar.

DATOS DE CONSUMO RELATIVO A LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Número de personas, camas, servicio, usuario...:	90
Uso del Edificio	Vestuarios/duchas colectivas
Consumo por persona, cama, servicio, usuario... [L/día]:	15
Consumo de agua a máxima ocupación [L/día]:	1.350
Temperatura de referencia [°C]:	60

Tabla 22. Datos de consumo debido a necesidades energéticas

DATOS DEL CAPTADOR

Tipo de Captador	captadores planos.
Modelo de captador:	SOLARIS CP1
Superficie captador [m ²]:	2,02
Factor de eficiencia	0,799
Coeficiente global de pérdidas [W/(m ² ·°C)]:	3,4
Caudal en circuito primario [(L/h)/m ²]:	50
Calor específico en circuito primario [Kcal/(Kg·°C)]:	1
Calor específico en circuito secundario [Kcal/(Kg·°C)]:	0,9
Eficiencia del intercambiador:	0,9
Temperatura de tarado del sistema	130° C

Tabla 23. Valores del captador solar.

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA SEGÚN CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

Sistema de energía convencional de apoyo	calentador individual instantáneo modulante.
Energía de apoyo utilizada	gas natural
Caso	General
Zona climática	IV
Contribución solar mínima [%]	60

Tabla 24. Valores de contribución solar mínima

DATOS DE SALIDA

Número de captadores:	12
Area total captadores [m ²]:	24,24
Inclinación del captador (β) [°]:	45°
Orientación (α) [°]:	0°
Volumen de acumulación [L]:	4.000
Relación volumen de acumulación/área captadores [l/m ²]:	165,0
Perdidas adicionales por orientación e inclinación y sombras(%)	0,63%

Tabla 25. Datos obtenidos

Cumple la contribución solar mínima 81% > 60%

El rendimiento total de la instalación es de 45% > 40% que nos propone el CTE.

GRÁFICAS DE NECESIDADES Y AHORROS.

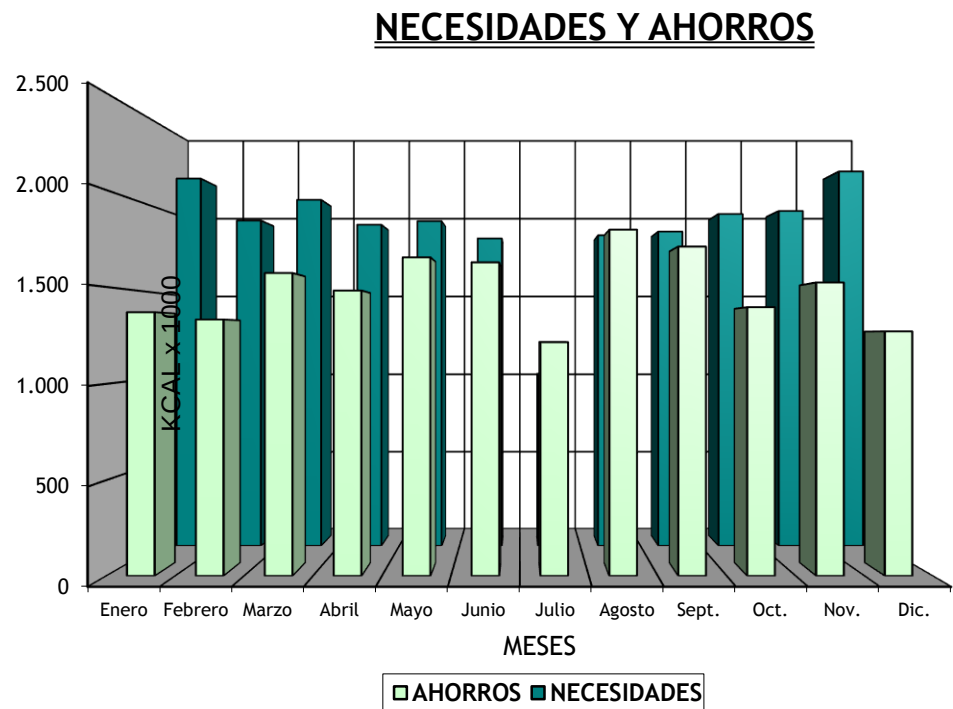


Ilustración 14. Necesidades y ahorros por ACS

GRÁFICAS DE RENDIMIENTO DEL SISTEMA

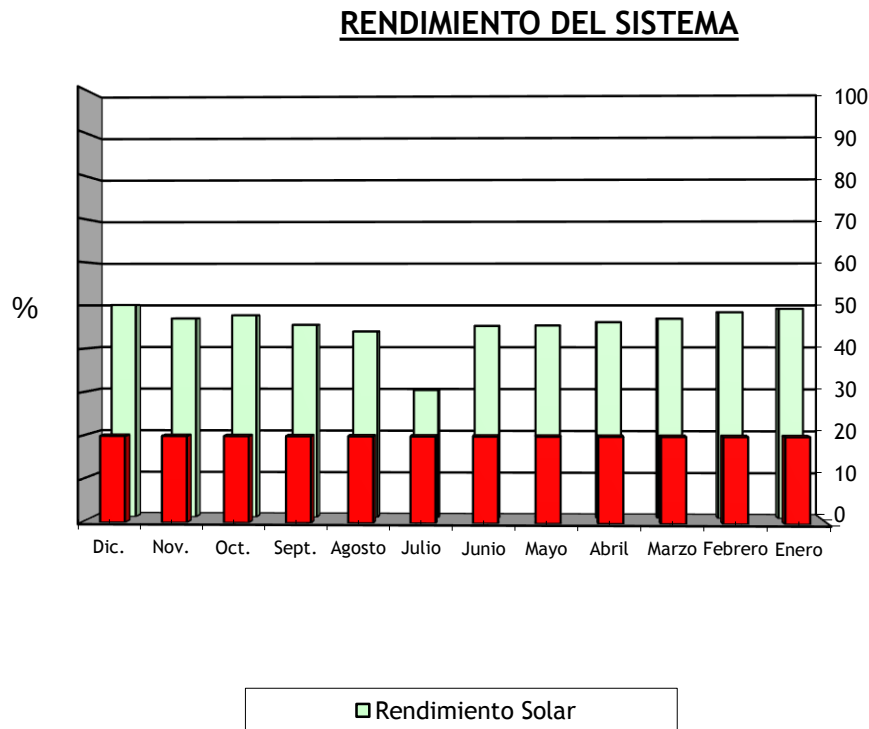


Ilustración 15. Rendimiento de los captadores para ACS

➤ Captadores solares para la piscina

DATOS DE CONSUMO RELATIVOS A LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LA PISCINA

Ubicación de la piscina [Interior/Exterior]:	Interior
Superficie de la piscina [m ²]:	387,5
Volumen de la piscina [m ³]:	569
Humedad relativa [%]:	60
Temperatura deseada de la piscina	26°C

Tabla 26. Consumo referentes a la piscina

DATOS DEL CAPTADOR

Tipo de captador	captadores planos.
Modelo de captador:	Solaris CP1
Superficie captador [m ²]:	2,00
Factor de eficiencia óptico:	0,80
Coeficiente global de pérdida [W/(m ² ·°C)]:	3,400
Caudal en circuito primario [(L/h)/m ²] - [(Kg/h)/m ²]:	50
Caudal en circuito secundario [(L/h)/m ²] - [(Kg/h)/m ²]:	50
Calor específico en circuito primario [Kcal/(Kg·°C)]:	1
Calor específico en circuito secundario [Kcal/(Kg·°C)]:	0,9
Eficiencia del intercambiador:	0,75

Tabla 27. Datos de los captadores solares para piscina

DATOS DE SALIDA

Número de captadores:	50
Area captadores [m²]:	100,00
Inclinación [°]:	45

Tabla 28. Datos de salida de los captadores

GRAFICA DE NECESIDADES Y AHORROS EN LA PISCINA

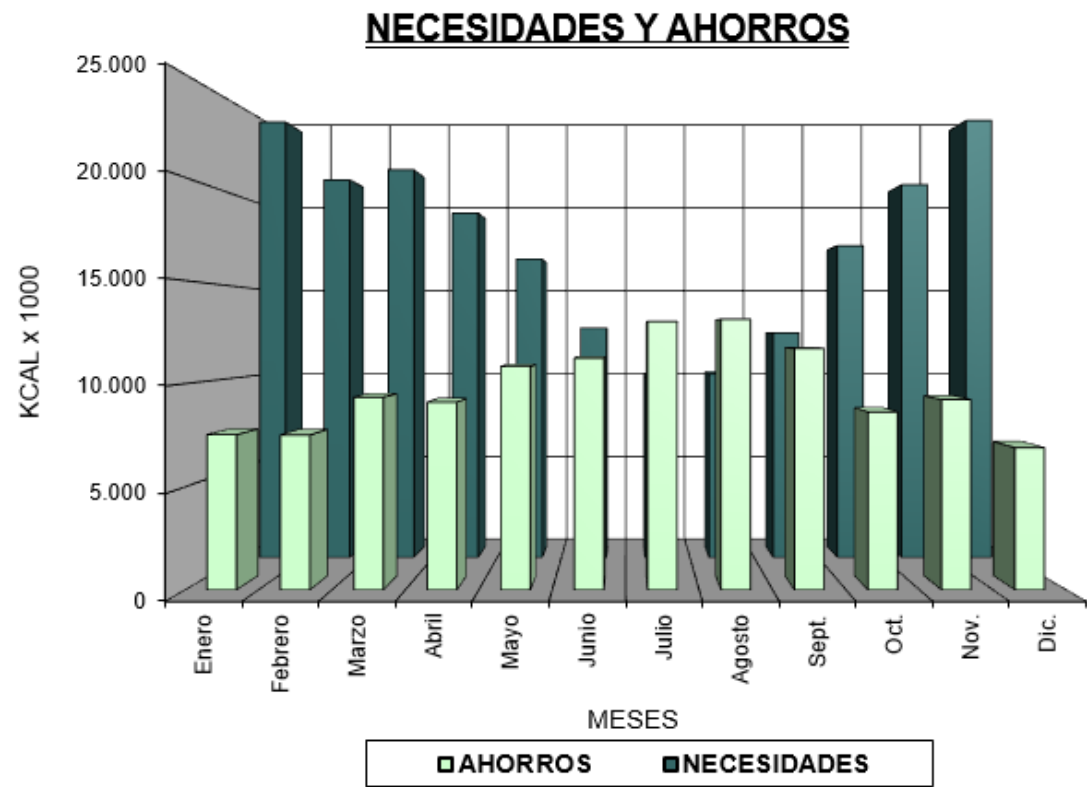


Ilustración 16. Necesidades y ahorros de captadores para piscinas

7 MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO.

A continuación vamos a detallar una serie de medidas para que sea posible un ahorro del gasto que supone el centro deportivo, vamos a exponer un mix de medidas.

Una vez estudiado el consumo el balance energético de la instalación podemos ver donde invertimos más energía:



Ilustración 17. Necesidades del polideportivo

El consumo de este polideportivo 6100 horas anualmente lo que supondría un consumo térmico aproximado de **858.000 kWh** al año, con respecto a este dato vamos a realizar un estudio energético para ver donde podemos ahorrar más energía, con lo cual tendríamos menos gastos.

La instalación térmica de que dispone el complejo deportivo y que es objeto de esta auditoria energética, consta de dos calderas de 255kW y 50kW respectivamente, colocadas en paralelo, que utilizan como combustible gas natural.

El consumo calculado anual es de 858.000kWh y el precio del gas natural en 2.015 asciende a 0,05374 €/kWh con lo cual tenemos un gasto de **46.108 €** anuales.

Partiendo de estos datos vamos a ir sustituyendo o incorporando otras aplicaciones para conseguir optimizar nuestro polideportivo y sea lo más eficiente dentro de lo posible.

7.1 Instalación de una manta térmica.

Para reducir el nivel de evaporación del agua, y por ende la pérdida de energía, en los últimos años se ha extendido la utilización de mantas térmicas, suelen estar fabricadas de polipropileno o vinilo.

Su principal función es la de mantener el calor del agua del vaso y también evitar la evaporación del agua. Las ventajas pueden resumirse en:

- Reducción en la pérdida de calor del agua disminuyendo el consumo de combustible de las calderas y la bomba de circulación del agua, ya que no haría falta que pasara tan a menudo por los calentadores.
- Reducción de niveles de humedad del recinto, así no se usaría constantemente el sistema de ventilación del recinto.
- Ahorros eléctricos, ya que el sistema de ventilación durante las horas de no uso no se utilizaría.

La manta térmica evita en torno a un 70% las pérdidas por evaporación. Estas pérdidas por evaporación durante la noche suponen un gasto de 59.184'84 kWh, entonces:

$$\text{Ahorro (kWh)} = 59.184'84 \text{ kWh} \cdot 70\% = \mathbf{41.429'388 \text{ kWh}}$$

El calentamiento de esta agua se lleva a cabo por una caldera de gas natural cuyo valor en 2.015 es de 0'05374 $\frac{\text{€}}{\text{kWh}}$, esto nos supone un ahorro de:

$$\text{Ahorro (€)} = 41.429'388 \text{ kWh} \cdot 0'05374 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \mathbf{2.226 \text{ €}}$$

Ahora tenemos que saber el precio de la manta térmica para saber la inversión a realizar, de una manta térmica de Polietileno no poroso, con burbujitas de aire sellado (400 micras) supone 2.287 € para las dos piscinas.

La inversión a realizar es de 2.287€ en la manta térmica y vamos a suponer que el Gas natural tiene una subida de 4% anual, vamos a realizar la amortización de la inversión en 5 años y tenemos:

	Consumo Gas Natural (kWh)	Precio del Gas Natural ($\frac{€}{kWh}$)	Coste por Gas Natural (€)	Coste Manta Térmica (€)
Año 1	41429,388	0,05374	2226,41531	1143,5
Año 2	41429,388	0,0558896	2315,47192	1143,5
Año 3	41429,388	0,05812518	2408,0908	0
Año 4	41429,388	0,06045019	2504,41443	0
Año 5	41429,388	0,0628682	2604,59101	0
TOTAL	207146,94		12058,9835	2287

Tabla 29. Amortización inversión de manta térmica y caldera de gas

En cinco años obtendríamos unos beneficios de:

$$\text{Beneficios (€)} = 12.058'9835€ - 2.287 € = \mathbf{9.771'98€}$$

7.2 Instalación de caldera de gasóleo C.

Con la instalación de una caldera de Gasóleo C es posible obtener al mismo tiempo ACS y calefacción con el mismo equipo. Las calderas de Gasóleo tienen la ventaja de que son capaces de calentar el agua a mayor velocidad y consumen más lentamente el combustible, generando así una menor cantidad de gases. También los costos de reparación y mantenimiento en este tipo de calderas son muy poco costosos y el precio de venta es relativamente bajo en comparación a otro tipo de calderas que veremos más adelante.

Como todo, estas calderas también tienen inconvenientes, como podría ser que debido a la combustión se van acumulando unos restos que es necesario limpiarlo una vez al menos una vez al año, estas calderas en comparación con la caldera de Gas natural no son tan eficientes en el uso de la energía ni en la emisión de gases. El tipo de combustible no proviene por una red de alimentación, con lo cual habrá que comprarlo y transportarlo al recinto, esto incrementará los costes.

Debido a la instalación de dicha caldera y a las operaciones a realizar suponen un coste de 13.000 €, vamos a estudiar si dicha inversión sería más rentable que la actual caldera de Gas Natural, vamos a estudiar esta inversión en un periodo de 6 años y suponiendo que pagamos la caldera en dos plazos anuales cada uno de 7.500 €.

Las ventajas de la instalación de una caldera de gasóleo C es que podemos utilizar las mismas instalaciones que la de la caldera de Gas Natural, sin necesidad de realizar obra civil adicional, simplemente sustituyendo una caldera por la otra.

Partimos de:

- Precio: 0'0619 €/kWh
- PCI : 9'98 kWh/litro
- Subida anual del 4% tanto de Gas Natural como de Gasóleo C.
- Préstamo a entidad bancaria al 0% de interés.
- No somos beneficiarios de ninguna ayuda o subvención.

Obtendremos así la siguiente tabla de amortización:

	Gas Natural	Precio Gas Natural	Coste Gas Natural	Gasóleo Consumida	Precio de Gasóleo	Coste Gasóleo	Ahorro	Prestamos	Pagos resultantes
	m3	€/m3	€	kW·h	€/kW·h	€	€	€	€
Año 1	78000	0,05374	4191,72	858000	0,0619	53110,2	-48918,48	3500	-52418,48
Año 2	78000	0,0558896	4359,3888	858000	0,064376	55234,608	-50875,2192	3500	-54375,2192
Año 3	78000	0,05812518	4533,76435	858000	0,06695104	57443,9923	-52910,228	0	-52910,228
Año 4	78000	0,06045019	4715,11493	858000	0,06962908	59741,752	-55026,6371	0	-55026,6371
Año 5	78000	0,0628682	4903,71952	858000	0,07241424	62131,4221	-57227,7026	0	-57227,7026
Año 6	78000	0,06538293	5099,8683	858000	0,07531081	64616,679	-59516,8107	0	-59516,8107
Año 7	78000	0,06799824	5303,86304	858000	0,07832325	67201,3461	-61897,4831	0	-61897,4831
Año 8	78000	0,07071817	5516,01756	858000	0,08145618	69889,4	-64373,3824	0	-64373,3824
Año 9	78000	0,0735469	5736,65826	858000	0,08471442	72684,976	-66948,3177	0	-66948,3177
Año 10	78000	0,07648878	5966,12459	858000	0,088103	75592,375	-69626,2504	0	-69626,2504
									-594320,511

Tabla 30. Inversión cambio caldera de gas por caldera de gasoleo

Podemos observar que no saldría para nada rentable la sustitución de una caldera de gas natural por una de gasóleo C, ya que el precio del gasóleo es muy elevado a los que habría que añadirle el precio de la compra de dicha caldera.

Se había considerado esta propuesta, por la facilidad de sustitución de ambas instalaciones y por el bajo precio de esta caldera en comparación con calderas como las de biomasa, pero el combustible es muy elevado y no es la opción más aconsejable, esta opción vamos a no llevarla a cabo en nuestro polideportivo.

7.3 Instalación de caldera de Biomasa.

La biomasa es una de las fuentes de energía renovables de más rápido crecimiento, es una de las fuentes renovables más usadas en todo el mundo, la biomasa es un término que describe casi cualquier tipo de residuo vegetal, principalmente los productos derivados de la madera.

La biomasa tiene una serie de ventajas como pueden ser:

Ventajas medioambientales

- No contribuye al cambio climático ya que su balance en emisiones de dióxido de carbono es neutro. Al quemar la biomasa para la obtención de energía se libera dióxido de carbono a la atmósfera, pero durante el crecimiento de la materia orgánica vegetal se absorbe este dióxido de carbono.
- Al usar biomasa se eliminan residuos, deshechos, aguas residuales y purines que son fuente de contaminación del subsuelo.
- En la combustión de la biomasa genera cantidades despreciables de azufre y no provoca el fenómeno de lluvia ácida.
- En terrenos agrícolas se previene el riesgo de incendio así como de plagas.

Ventajas económicas

La biomasa presenta un beneficio económico ya que el combustible es más económico que los demás combustibles procedentes de residuos fósiles.

También la biomasa posee unas desventajas que son:

- La biomasa tiene menor densidad que otros combustibles fósiles, es decir se necesita mayor cantidad de biomasa para obtener la misma cantidad de energía.
- Ocupan mayor volumen que combustibles fósiles, lo que necesitaríamos mayor sistemas de almacenamiento.

La instalación térmica de que dispone el complejo deportivo y que es objeto de esta auditoria es la relativa a la producción de agua caliente sanitaria, calefacción del edificio y calentamiento de agua de la piscina.

El polideportivo consta de dos calderas de 255 kW y de 50 kW respectivamente, colocadas en paralelo con gas natural como combustible.

En base a los datos suministrados por el polideportivo el consumo de energía a lo largo de un año es de 858.000 kWh. Esta energía también se podría producir con la combustión de biomasa, la biomasa tiene un poder calorífico de 4'5 kWh/kg.

Para producir una energía de 858.000 kWh, necesitamos:

$$Energía_{anual}(kWh) = PCI \left(\frac{kWh}{kg} \right) \cdot Cantidad\ biomasa\ (kg)$$

Entonces:

$$Cantidad\ de\ biomasa = \frac{858.000\ kWh}{4'5 \frac{kWh}{kg}} = 190.667\ kg$$

Teniendo en cuenta que el precio de biomasa en la fecha actual es de 0'14 €/kg parece que lógico emplear biomasa a diferencia del sistema actual de gas natural, parecen notables la reducción de gastos en la factura anual:

$$Gasto\ anual = 190.667\ kg \cdot \frac{0'14\ €}{kg} = 26.693'38\ €$$

En efecto, el gasto anual de biomasa es de 26.693'38 € a diferencia del sistema actual de producción de calor de la caldera de gas natural que asciende a 37.050 € anuales, con la caldera de biomasa estaríamos ahorrando un 28 % del total de nuestra factura anual.

Parece lógico un cambio radical en la instalación de una caldera de biomasa en lugar de la actual de gas natural. No es posible adaptar las calderas existentes al uso de biomasa, por lo que es necesario colocar una nueva caldera exclusivamente para el uso de biomasa.

Para la alimentación del combustible a la caldera, es necesaria de proveerla de un almacén o silo para almacenar el combustible de biomasa como hemos dicho anteriormente. Dada la configuración del edificio, se estima que la mejor solución es utilizar la central térmica existente para albergar en la nueva caldera, eliminando las calderas existentes. La ubicación del almacén de combustible se realizaría en una sala próxima a la central térmica, readaptando así los espacios existentes.

La potencia de la caldera propuesta es de 230 kW, similar a la mayor de las calderas existentes.

Debido a las operaciones a realizar:

- Sustitución de calderas, preparación de central térmica con desmontaje de ambas calderas existentes y traslado de estas a un vertedero.
- Suministro y colocación de caldera de biomasa marca HERGOM oliva 20 de 230 kW de potencia incluidos accesorios de limpieza automática, tolva de alimentación, recogida automática de cenizas, encendido automático, cuadro de maniobra y demás accesorios de montaje.
- Adaptación de nueva caldera a la chimenea existente.
- Obra civil para readaptación de espacios para ubicación del almacén de combustible en un local próximo a la sala de la caldera de biomasa.

Partimos de:

- Precio: 0'14 €/kg
- PCI : 4'5 kWh/kg
- Subida anual del 4% tanto de Gas Natural como de combustible biomasa.
- Préstamo a entidad bancaria de 81.600 € al 0% de interés.

	Gas Natural	Precio Gas Natural	Coste Gas Natural	Biomasa Consumida	Precio de Biomasa	Coste Biomasa	Ahorro	Prestamos	Pagos Resultantes
	m3	€/m3	€	kg	€/kg	€	€	€	€
Año 1	78000	0,475	37050	190667	0,14	26693,38	10356,62	20400	10043,38
Año 2	78000	0,494	38532	190667	0,1456	27761,1152	10770,8848	20400	9629,1152
Año 3	78000	0,51376	40073,28	190667	0,151424	28871,5598	11201,7202	20400	9198,27981
Año 4	78000	0,5343104	41676,2112	190667	0,15748096	30026,4222	11649,789	20400	8750,211
Año 5	78000	0,55568282	43343,2596	190667	0,1637802	31227,4791	12115,7806	0	-12115,7806
Año 6	78000	0,57791013	45076,99	190667	0,17033141	32476,5783	12600,4118	0	-12600,4118
Año 7	78000	0,60102653	46880,0696	190667	0,17714466	33775,6414	13104,4283	0	-13104,4283
Año 8	78000	0,6250676	48755,2724	190667	0,18423045	35126,667	13628,6054	0	-13628,6054
Año 9	78000	0,6500703	50705,4833	190667	0,19159967	36531,7337	14173,7496	0	-14173,7496
Año 10	78000	0,67607311	52733,7027	190667	0,19926365	37993,0031	14740,6996	0	-14740,6996
TOTAL			44.4826,269			32.0483,58	12.4342,689		-42.742,689

Tabla 31. Inversión cambio caldera de gas natural por caldera de biomasa

Del anterior cuadro se obtienen las siguientes conclusiones:

- En el quinto año la instalación está totalmente amortizada.
- Al cabo de diez años se obtiene un beneficio de la sustitución de la caldera de gas por una de biomasa de 42.742'689 €

7.4 Instalación de iluminación.

El polideportivo dispone de una iluminación que consiste en las siguientes luminarias:

- 14 Equipo Downlight de 2 x 26 W con un consumo de 70,2 W
- 340 Tubos fluorescentes de 60 cm de 18 W con un consumo de 24'3 W.

La potencia instalada es de:

$$Potencia_{instalada} (W) = 14 \text{ equipos} \cdot 70'2 W + 340 \text{ tubos} \cdot 24'3 W = \mathbf{9244'8 W}$$

Habida cuenta el horario de funcionamiento de cada luminaria y la potencia de cada una de las bombillas (incluida su reactancia), el consumo energético anual proporcionado por el polideportivo al alumbrado de la misma asciende a **19.759'33 kWh**.

Según los datos suministrados por la propiedad sobre el precio de la energía contratada, el coste de la explotación del alumbrado asciende a la cantidad de **2.922'78 €**.

Se propone realizar el cambio de los aparatos de iluminación existentes por otros de tecnología LED para disminuir la potencia instalada y, en consecuencia, el consumo energético anual.

Nos hemos decantado por usar tecnología LED por los siguientes motivos:

- Por ahorro:

Hoy en día la tecnología LED es la forma más eficiente de iluminación, 80% menos en comparación con la iluminación tradicional. Esto significa que alrededor del 80% de la energía eléctrica se convierte en luz, es decir, consume muy poca energía y produce poco calor.

- Por durabilidad:

Se caracteriza por el tiempo de duración. Su vida está en torno a las 50.000 horas. La duración de estas no se calculan en función del momento cuando se apaguen, sino en base al porcentaje del flujo luminoso, es decir, el LED sigue funcionando una vez pasadas las horas de vida útil pero con menor intensidad.

Están compuestos por componentes altamente resistentes, perfectamente útiles para nuestra polideportivo ya que puede soportar agua que en determinado pueda incidir sobre estos.

- Por ecología:

Los dispositivos LED no contienen mercurio, no producen irradiaciones de infrarrojos, no producen contaminación lumínica y son 100% reciclables. Al tener alto tiempo de durabilidad gastaremos menos bombillas, ahorrando así material.

En nuestro polideportivo las luminarias que se proponen tienen las mismas características que las existentes.

Los cambios que se proponen son:

Equipo existente	Potencia	Equipo propuesto	Potencia
Downlight de 2 x 26 W	70'2 W	Downlight DL-30 N	30 W
Tubos fluorescentes de 60 cm	24'3 W	Tubo Bajo consumo 60 cm	12 W

Tabla 32. Cambios propuestos para iluminación.

Según el presupuesto que nos ha facilitado una casa especializada el coste de la instalación asciende a la cantidad de 6.613'00 €, aparte IVA, lo que supone 8001'73€.

A continuación vamos a suponer que se incrementa un 5% el precio de la energía.

Obtenemos la siguiente tabla de amortización:

	Precio de la energía	de con actual	Energía sistema Actual	Coste con con propuesto	Energía sistema futuro	Coste anual	Ahorro acumulado
	€/kW·h		kW·h	€	kW·h	€	€
Año 1	0,148		19759,33	2924,38084	9244,8	1368,2304	1.556,15044
Año 2	0,1554		19759,33	3070,59988	9244,8	1436,64192	3.190,1084
Año 3	0,16317		19759,33	3224,12988	9244,8	1508,47402	4.905,76426
Año 4	0,1713285		19759,33	3385,33637	9244,8	1583,89772	6.707,20292
Año 5	0,17989493		19759,33	3554,60319	9244,8	1663,0926	8.598,7135
Año 6	0,18888967		19759,33	3732,33335	9244,8	1746,24723	10.584,7996
Año 7	0,19833415		19759,33	3918,95002	9244,8	1833,55959	12.670,19
Año 8	0,20825086		19759,33	4114,89752	9244,8	1925,23757	14.859,85
Año 9	0,21866341		19759,33	4320,64239	9244,8	2021,49945	17.158,9929
Año 10	0,22959658		19759,33	4536,67451	9244,8	2122,57443	19.573,093
TOTAL				36.782,5479		17.209,4549	

Tabla 33. Inversión cambio iluminación por tecnología LED

Del anterior cuadro se obtienen las siguientes conclusiones:

- En el quinto año la instalación está totalmente amortizada.
- Al cabo de diez años se obtiene un beneficio de la sustitución de la iluminación actual por el sistema propuesto de LED 19.573'093 €.

7.5 Instalación de caldera de biomasa y manta térmica.

Al realizar el estudio exhaustivo de las necesidades térmicas de la piscina en cuestión hemos visto la rentabilidad de una caldera de biomasa con respecto a una caldera como la que tiene de gas natural.

También hemos podido comprobar la eficiencia de una manta térmica al combinarla con una caldera de gas natural, ahora bien, vamos a dar por hecho que vamos a sustituir la caldera de gas natural por una de biomasa en busca de la mayor eficiencia del centro polideportivo, así pues vamos a añadirle además de la caldera de biomasa la manta térmica para ver si fuese rentable esta propuesta o si por lo contrario la deseamos.

La manta térmica evita en torno a un 70% las pérdidas por evaporación. Estas pérdidas por evaporación durante la noche suponen un gasto de 59.184'84 kWh, entonces:

$$\text{Ahorro (kWh)} = 59.184'84 \text{ kWh} \cdot 70\% = \mathbf{41.429'388 \text{ kWh}}$$

El calentamiento de esta agua se lleva a cabo por una caldera de biomasa cuyo valor en 2.015 es de $0'0311 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$, esto nos supone un ahorro de:

$$\text{Ahorro (€)} = 41.429'388 \text{ kWh} \cdot 0'0311 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \mathbf{1.288'92 \text{ €}}$$

Ahora tenemos que saber el precio de la manta térmica para saber la inversión a realizar, de una manta térmica de Polietileno no poroso, con burbujitas de aire sellado (400 micras) supone 2.287 € para las dos piscinas.

La inversión a realizar es de 2.287€ en la manta térmica y vamos a suponer que el combustible de la caldera de biomasa tiene una subida de 4% anual, vamos a realizar la amortización de la inversión en 10 años y tenemos:

		Consumo Biomasa kWh	Precio Biomasa €/kWh	Coste por Biomasa €	Coste Manta €	Ahorro anual €
1	Año	41429,38	0,031111	1288,90944	1143,5	145,409441
2	Año	41429,38	0,03235544	1340,46582	1143,5	196,965819
3	Año	41429,38	0,03364966	1394,08445	0	1394,08445
4	Año	41429,38	0,03499564	1449,84783	0	1449,84783
5	Año	41429,38	0,03639547	1507,84174	0	1507,84174
6	Año	41429,38	0,03785129	1568,15541	0	1568,15541
7	Año	41429,38	0,03936534	1630,88163	0	1630,88163
8	Año	41429,38	0,04093995	1696,11689	0	1696,11689
9	Año	41429,38	0,04257755	1763,96157	0	1763,96157
10	Año	41429,38	0,04428065	1834,52003	0	1834,52003
						13.187,7848

Tabla 34. Inversión caldera de biomasa y manta térmica.

Podemos comprobar que la instalación de una manta térmica es rentable tanto para una caldera de gas como de biomasa, debido a que es una inversión muy pequeña que ahorra una gran pérdida de cantidad de calor de ambos vasos.

En diez años con la instalación de una manta térmica en piscina con caldera de biomasa nos ahorraríamos **13.187'78 €**.

Vemos la diferencia que nos ahorraríamos con gas natural o con caldera de biomasa en un periodo de cinco años:

Tipo instalación	Ahorro en 5 años
Biomasa + Manta térmica	1.507'98 €
Gas natural + Manta térmica	9.771'84 €

Tabla 35. Comparativa ahorro caldera de biomasa y gas natural, ambas con uso de manta térmica.

Es una buena medida de eficiencia energética tanto para calderas de biomasa como de gas natural, aunque debido a que el precio del gas natural es más elevado que el combustible de biomasa, será más rentable en piscinas con calderas de gas natural.

7.6 Instalación de intercambiador de calor.

Otra posible mejora que podríamos añadir a nuestro polideportivo es la adaptación de un intercambiador de calor.

Debido a que diariamente como nos dicta el código técnico de la edificación hay que renovar el 5% del agua del total del vaso, en nuestro caso supone:

$$\begin{aligned} Vol. total &= vol. Piscina semiolímpica + vol. Piscina recreo = \\ &= 500 \text{ m}^3 + 69 \text{ m}^3 = 569 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Con lo cual todos los días se renueva:

$$569 \text{ m}^3 \cdot 0,05 = 28'45 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 1.185 \text{ litros/hora}$$

A diario desechamos 28'45 m³ del agua del vaso, la cual esta se encuentra a 26°C.

La idea es adaptar un intercambiador de calor entre esta red de tuberías la cual fluye el agua a 26°C y la del suministro de agua de la red, que tomaremos una temperatura media de red de 12,3°C. Quedaría de esta forma:

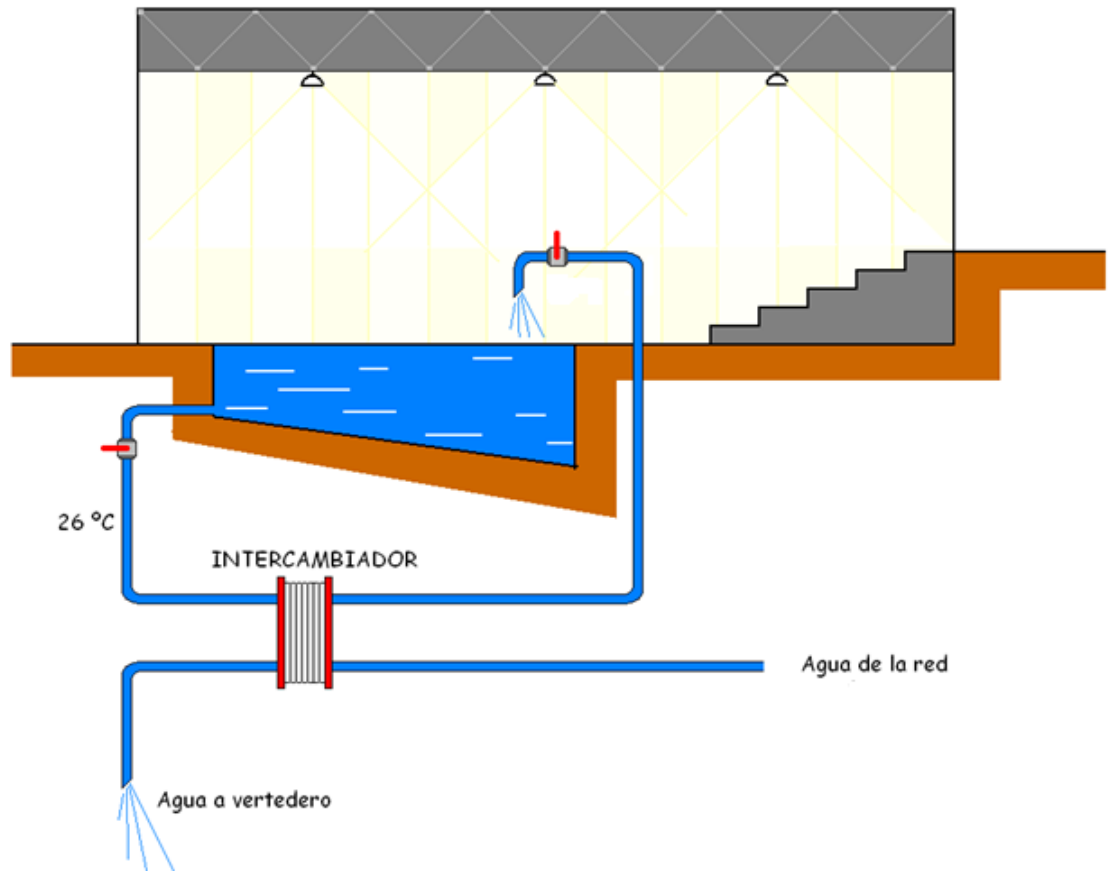


Ilustración 18. Funcionamiento de intercambiador de calor en piscina.

El calor aportado por el intercambiador de calor entre ambos conductos será:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \rho \cdot \Delta T$$

Donde:

$$\dot{m}: \text{Flujo másico } 28'45 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 3'24 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$C_p: \text{Calor específico del agua } 4'18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\rho: \text{Densidad del agua } 999'58 \text{ Kg/m}^3.$$

ΔT : Diferencia de temperaturas. Suponemos que el agua se calienta de 12'3°C a 16°C

$$Q = 22'3 \text{ kW}$$

7.7 Consumos totales del polideportivo

Por último vamos a realizar un cuadro resumen con todas las medidas que hemos considerado más rentables de instalar o adaptar en el polideportivo de La Carolina y vamos a comparar este ahorro de como sería si el centro solo contara con una caldera de gas natural como combustible:

Cambios introducidos:

- Caldera de Biomasa.
- Manta Térmica.
- Iluminación Led.

Bien aquí tenemos la comparativa de consumo, teniendo en cuenta todas las inversiones realizadas en cada operación y cómo podemos apreciar al cabo de 6 años ya sería rentable todas estas modificaciones que se irían amortizando más aun conforme pasen los años.

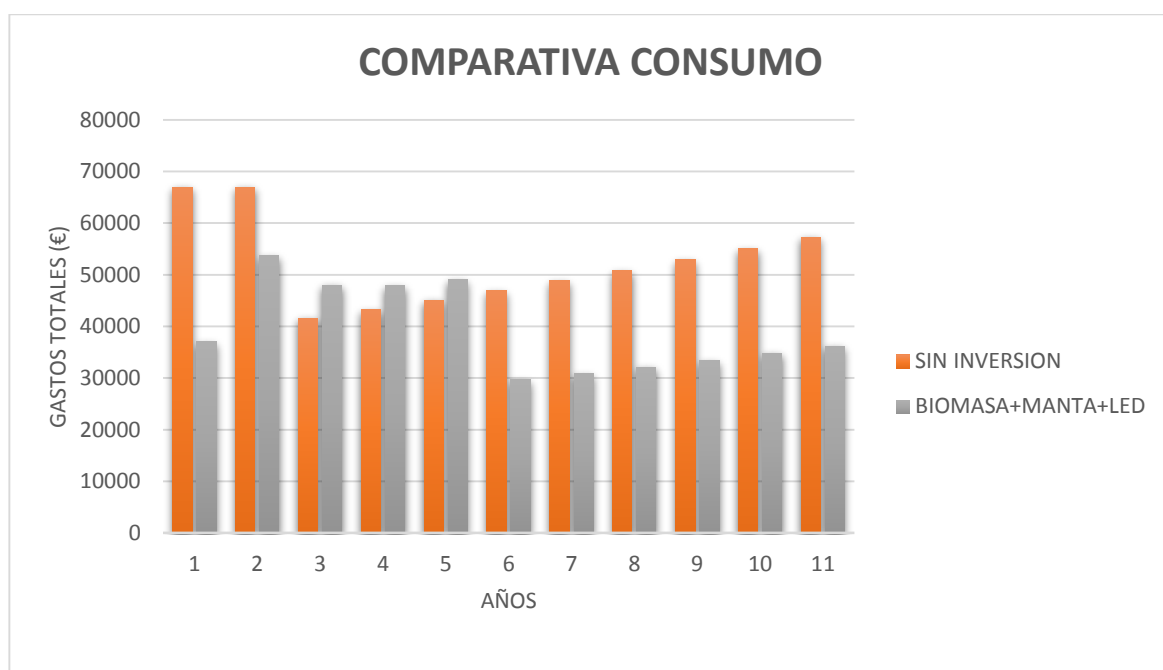


Ilustración 19. Comparativa de consumo con inversiones realizadas.

8. BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía en el presente trabajo se enumeran a continuación:

1. Climatización de piscinas cubiertas. Agustín Maillo. CIATESA (compañía industrial de aplicaciones térmicas, S.A.).
2. Guía de la eficiencia energética en instalaciones deportivas. Fundación de la energía de la comunidad de Madrid.
3. Guía de diseño & eficiencia en piscinas cubiertas. Jose Saavedra.
4. Decreto 95/2000, de 22 de Febrero, en el que se establecen las normas sanitarias aplicables a las piscinas de uso público.
5. Reglamento de instalaciones térmicas en edificios (RITE). 20 de Julio de 2007 aprobó el Real Decreto 1027/2007.
6. Comentario al RITE-ITE-10 Instrucciones específicas. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE).
7. Energía solar térmica. Archivo Excel F-Chart.
8. Guía técnica para el ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización. IDEA.
9. Código técnico de la edificación Real Decreto 1371/2007, de 19 de Octubre.
10. Guía técnica de diseño de calderas de biomasa.
11. Normativa sobre instalaciones deportivas y de esparcimiento (NIDE).
12. Reglamento técnico Sanitario en Andalucía en el Real Decreto 742/2013.