

AHORRO DE ENERGÍA EN PISCINAS CUBIERTAS

Autores: Eva M^a Albarracín / Javier Sanabria / Agustín Maillo
Ponente: Eva M^a Albarracín Moreno
Empresa: CIATESA

1. OBJETIVOS DE UNA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN DE PISCINAS CUBIERTAS

En el proyecto de climatización de este tipo de instalaciones hay que tener en cuenta dos factores fundamentales que hacen estas instalaciones diferentes al proyecto de climatización de cualquier otro local climatizado:

- El nivel de evaporación existente en el recinto es muy alto
- El grado de vestimenta de los ocupantes del recinto es muy bajo

Por tanto, los dos objetivos fundamentales a cumplir en este tipo de instalaciones son:

- La obtención de unas condiciones de confort adecuadas para los ocupantes del recinto
- Evitar condensaciones

Para ello será necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- Obtención de una temperatura y humedad ambiente del local adecuadas. Según la IT.1 del nuevo RITE, la temperatura del aire se mantendrá entre 1 y 2°C por encima de la temperatura del vaso, con un máximo de 30°C. Así mismo, la humedad relativa del local se mantendrá siempre por debajo del 65% para preservar de la formación de condensaciones en los cerramientos.
- Mantenimiento de la temperatura del vaso de la piscina. Esta temperatura varía en función de las distintas aplicaciones; según la IT.1 del nuevo RITE, la temperatura del vaso se mantendrá entre 24 °C y 30 °C, según el uso principal de la piscina (se excluyen las piscinas de usos terapéuticos).

Con estas condiciones de temperatura y humedad en los locales se garantiza:

- o condiciones de confort de los ocupantes. Estas condiciones de temperatura y humedad evitan que los bañistas que salen mojados tengan sensación de frío, por una temperatura baja del ambiente o por el calor cedido por el cuerpo en el proceso de evaporación del agua de la piel mojada en caso de que la humedad ambiente sea baja.
 - o Limitar la evaporación de la lámina del agua de la piscina. El agua evaporada de la piscina está directamente relacionada con la diferencia de condiciones de temperatura de la lámina del agua y la temperatura y humedad del aire ambiente.
- Impulsión de aire sobre los cerramientos exteriores, para que la temperatura de los mismos sea superior a la temperatura de rocío del aire ambiente interior (19.9°C), y evitar condensaciones sobre los mismos.
 - No impulsar sobre la superficie del vaso ni playas de la piscina.
 - Mantener una tasa de recirculación de aire adecuadas (4 a 8 veces el volumen del recinto).

2. NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN.

2.1. NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE CONFORT DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.

Las necesidades para mantener la temperatura del local se calculan de forma análoga a las de cualquier otro local a climatizar, pero puesto que lo que diferencia este tipo de instalaciones de cualquier otro local a climatizar es el elevado nivel de evaporación existente, se analizarán en este punto los factores que influyen sobre la humedad ambiente del local y se expondrán posibles fórmulas existentes para el cálculo de las necesidades de deshumectación del recinto.

2.1.1. Factores que intervienen en el aporte de humedad al ambiente:

- Evaporación de la lámina de agua del vaso de la piscina, que depende de:
 - Número de bañistas
 - Velocidad del aire sobre la lámina del agua
- Evaporación del agua contenida en las playas mojadas
- Evaporación del agua que llevan sobre la piel los bañistas al salir del vaso de la piscina
- Carga latente de los ocupantes del recinto (bañistas y público en general). En el caso de piscinas de competición la carga latente del público puede ser un factor muy importante, si la ocupación de las gradas es elevada.
- Carga latente del aire de ventilación. El alto contenido de humedad de este tipo de instalaciones, hace que por norma general, el aire exterior de ventilación contribuya de forma favorable en el cálculo, ayudando a deshumectar; pero es necesario tener en cuenta este factor, pues en ocasiones puntuales puede tener una humedad absoluta superior a la del aire ambiente interior, y por tanto, contribuir al aumento de humedad del local.

2.1.2. Fórmulas de cálculo de las necesidades de deshumectación:

Existen numerosas fórmulas para calcular la cantidad de agua evaporada en estas instalaciones en función de los factores anteriormente mencionados. Los resultados de las mismas pueden ser dispares, pero es muy importante tener en cuenta, que las hipótesis del cálculo, como pueden ser el número y tipo de bañistas, son aún más significativas en cuanto a los resultados obtenidos que la fórmula escogida para realizar dicho cálculo.

- Fórmula de Bernier

$$Me = S \cdot [(16+133n) \cdot (W_e - Ga \cdot W_{as})] + 0,1 \cdot N$$

donde:

Me = flujo másico de agua evaporada (kg/h)

S = superficie de la lámina de agua de la piscina (m²)

W_e = humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua de la piscina (kg ag/kg_a)

W_{as} = humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire ambiente interior (kg ag/kg_a)

Ga = grado de saturación

n = n° de nadadores por m² de superficie de lámina de agua

N = n° total de espectadores

En esta expresión se tiene en cuenta la suma de dos factores: evaporación asociada a la piscina sin agitación (coeficiente 16), y evaporación asociada a la agitación de los ocupantes (coeficiente 133n).

- **Fórmula de Carreras**

En esta fórmula además de las variables anteriores, se considera también la velocidad del aire:

$$Me = 9 \times (We - Wa) \times (1 + V/1.20) \times S + 0,42 \times n + 0,08 \times N.$$

donde:

M_e = flujo másico de agua evaporada (kg/h)

W_e = humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua de la piscina (kg ag/kg_a)

W_a = humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire ambiente interior (kg ag/kg_a)

S = superficie de la lámina de agua de la piscina (m²)

n = n° de bañistas.

N = n° de espectadores

Ejemplo de aplicación: piscina semiolímpica (25 x 12.5 m²), con 70 ocupantes, aire interior a 27°C / 65% HR, agua del vaso de la piscina a 25°C, en tres supuestos de números de bañistas: 20, 40 y 60 bañistas:

Aplicando la fórmula de Bernier:

- Flujo másico de agua evaporada con la superficie de agua en reposo:

$$Me = 312.5 \times [16 \times (0.020 - 0.65 \times 0.0225)] = 26.9 \text{ kg/h}$$

- Flujo másico de agua asociado a la agitación del agua por los bañistas:

$$Me = 133 \times n \times S \times (0.020 - 0.65 \times 0.0225) = 0.715 \times n \times S \text{ kg/h}$$

$$Me (20 \text{ bañistas}) = 0.715 \times 20 = 14.30 \text{ kg/h}$$

$$Me (40 \text{ bañistas}) = 0.715 \times 40 = 28.60 \text{ kg/h}$$

$$Me (60 \text{ bañistas}) = 0.715 \times 60 = 42.90 \text{ kg/h}$$

- Flujo másico de agua evaporada asociada a los espectadores de la piscina:

$$Me (0 \text{ bañistas}) = 0.1 \times 70 = 7 \text{ kg/h}$$

$$Me (20 \text{ bañistas}) = 0.1 \times (70-20) = 5 \text{ kg/h}$$

$$Me (40 \text{ bañistas}) = 0.1 \times (70-40) = 3 \text{ kg/h}$$

$$Me (60 \text{ bañistas}) = 0.1 \times (70-60) = 1 \text{ kg/h}$$

Flujo másico total de agua evaporada en la piscina:

$$Me (0 \text{ bañistas}) = 26.90 = 26,90 \text{ kg/h}$$

$$Me (20 \text{ bañistas}) = 26,90 + 14,30 + 5 = 46,20 \text{ kg/h}$$

$$Me (40 \text{ bañistas}) = 26,90 + 28,60 + 3 = 58,50 \text{ kg/h}$$

$$Me (60 \text{ bañistas}) = 26,90 + 42,90 + 1 = 70,80 \text{ kg/h}$$

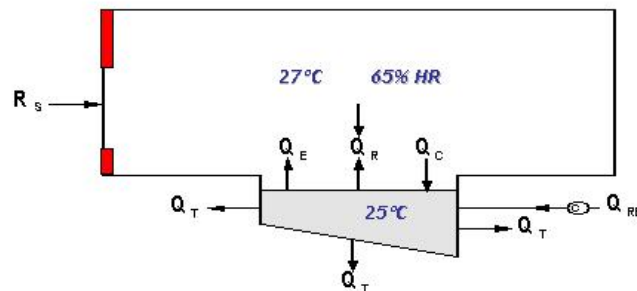
Dividiendo por la superficie de la piscina, para analizar el flujo másico por unidad de superficie de la piscina, se obtiene:

Número de bañistas (nº total ocupantes = 70 personas)	Flujo másico de agua evaporada por unidad de superficie (kg/h / m ²)
0	0.086
20	0.148
40	0.187
60	0.227

2.2. MANTENIMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL VASO DE LA PISCINA

Se analizarán los distintos factores que influyen sobre la temperatura del vaso de la piscina, a fin de conocer los factores principales sobre los que es preciso actuar desde el punto de vista del ahorro energético.

En el siguiente esquema se representan las pérdidas existentes en el vaso de la piscina:



- Q_E = pérdidas por evaporación del agua del vaso
- Q_R = pérdidas por radiación de calor
- Q_C = pérdidas por convección de calor
- Q_T = pérdidas por transmisión
- Q_{RE} = pérdidas por renovación del agua del vaso

Los factores que determinan estas pérdidas en el vaso de la piscina son:

- Temperatura del agua del vaso
- Temperatura y Humedad del aire ambiente interior del recinto
- Ocupación de la piscina
- Dimensiones del vaso

A continuación se analizan cada uno de estos tipos de pérdidas:

2.2.1. Pérdidas por evaporación del agua del vaso

$$Q_E \text{ (W/m}^2\text{)} = M_E \times C_V \text{ ,}$$

donde:

M_E (kg/h m²) es la masa de agua evaporada

C_v = calor latente de evaporación

De la expresión anterior, y para el ejemplo de aplicación utilizado se obtienen las siguientes pérdidas por evaporación:

$$Q_E \text{ (0 bañistas)} = 18.184 \text{ W}$$

$$Q_E \text{ (20 bañistas)} = 27.851 \text{ W}$$

$$Q_E \text{ (40 bañistas)} = 37.518 \text{ W}$$

$$Q_E \text{ (60 bañistas)} = 47.185 \text{ W}$$

2.2.2. Pérdidas por radiación de calor

$$Q_R \text{ (W/m}^2\text{)} = D \times E \times (T_{ag}^4 - T_c^4)$$

donde:

D = constante de Stefan-Boltzmann = 5.67×10^{-8} (W/m² k⁴)

E = emisividad de la superficie = 0.95 (agua)

T_{ag} = temperatura del agua (k)

T_c = temperatura de los cerramientos (k)

Este es un valor despreciable en piscinas cubiertas.

2.2.3. Pérdidas por convección de calor

Intercambio de calor entre en el agua de la piscina y el aire ambiente interior, debido a la diferencia de temperatura entre ambos.

$$Q_C = 0.6246 \times (T_{ag} - T_a)^{4/3} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Este término suele ser despreciable en piscinas cubiertas, y en cualquier caso, cuando el recinto está a régimen sería favorable suponiendo ganancias en el vaso de la piscina al ser la temperatura del aire ($T_a = 27^\circ\text{C}$) superior a la del agua ($T_{ag} = 25^\circ\text{C}$).

2.2.4. Pérdidas por transmisión

Pérdidas por transmisión a través de los cerramientos de la piscina, que dependerán de las características constructivas del vaso y del coeficiente de transmisión térmica del material empleado. En el caso más frecuente de vaso de piscina construido en hormigón dentro del propio sótano del recinto, las pérdidas por transmisión se calculan a través de la fórmula:

$$Q_T = C_T \times S \times (T_{ag} - T_{ex})$$

donde:

C_T = coeficiente de transmisión de muros y solería (W / m² x °C)

S = superficie de cerramiento del vaso (m²)

T_{ag} = temperatura agua piscina (C)

T_{ex} = temperatura exterior al cerramiento (sótano) (°C)

Como ejemplo, pueden considerarse los siguientes valores:

$$C_T = 1.5 \text{ W} / \text{m}^2 \times \text{°C}$$

$$S = 460 \text{ m}^2$$

$$T_{ag} = 25 \text{ °C}$$

$$T_{ex} = 15 \text{ °C},$$

de donde se obtiene unas pérdidas por transmisión de: $Q_T = 6900 \text{ W}$, que referidas a la superficie del vaso de la piscina:

$$Q_T = 6900 \text{ (W)} / 312.5 \text{ m}^2 = 22 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

2.2.5. Pérdidas por renovación del agua de la piscina

$$Q_{RE} = V_{RE} \times D \times C_E \times (T_{ag} - T_R)$$

donde:

V_{RE} = volumen de agua de renovación (m^3).

D = densidad del agua = $1000 \text{ kg} / \text{m}^3$

C_E = calor específico del agua = $1.6 \text{ (Wxh/kgx°\text{C})}$

T_{ag} = temperatura del agua de la piscina (°C)

T_R = temperatura del agua de la red (°C)

Por normativa, debido a razones higiénicas sanitarias, diariamente se ha de reponer un 5% del volumen total del agua del vaso de la piscina, por lo que este factor es importante en el total de pérdidas en el vaso.

Suponiendo un volumen total de agua del vaso de 500 m^3 , y temperatura de agua de red a 10°C , con los datos anteriores se tiene un valor para las pérdidas diarias de calor de:

$$Q_{RE} = 435 \text{ kW h/día},$$

que referido a la unidad de superficie de la lámina de agua da:

$$Q_{RE} = 435000 \text{ (kW h/día)} / (312.5 \text{ (m}^2\text{)} \times 24 \text{ (h/día)}) = 58 \text{ W/m}^2$$

2.2.6. Ganancias por radiación solar

Al tratarse de ganancias no se consideran en el cálculo para determinar las necesidades térmicas.

Estas ganancias dependen de:

- Orientación de los cerramientos del recinto
- Superficie y tipo de acristalamientos

Aunque este factor no contribuya al cálculo de las pérdidas, es necesario tenerlo presente, ya que dependiendo de los factores anteriores, en épocas intermedias si las ganancias son elevadas, podría aumentar considerablemente la temperatura interior del recinto, y por tanto, en estos casos es conveniente prever la instalación de un sistema de free-cooling.

2.2.7. Resumen de pérdidas en el vaso de la piscina

En la siguiente tabla se indica un resumen con los valores de las distintas pérdidas obtenidas para el ejemplo de aplicación utilizado:

Pérdidas vaso piscina	Q (W)	Q(W/m ² lám.agua)	% del total
Perdidas por evaporación (40 bañistas)	37.518	120	60.0
Pérdidas por radiación	-	-	-
Pérdidas por convección	-	-	-
Pérdidas por renovación	18.125	58	29.0
Pérdidas por transmisión	6.750	22	11.0
Ganancias por radiación solar	-	-	-
Total	62.393	200	100.0

Puede verse de este análisis del ejemplo utilizado, que las pérdidas más importantes que afectan en el mantenimiento de la temperatura del vaso de una piscina son la evaporación y la renovación del agua. Por tanto, desde el punto de vista del ahorro energético habría que actuar sobre las pérdidas por evaporación colocando una manta térmica que cubra la lámina de agua durante el período de inutilización de la piscina, aspecto mencionado en el nuevo RITE en el apartado de recuperación de calor (2.4.5.5), y sobre la renovación del agua de la piscina.

Para actuar sobre las pérdidas de calor asociadas a la renovación de agua de la piscina, se podría colocar un recuperador de placas en el circuito de agua de renovación que permita recuperar la energía calorífica del agua renovada sobre el agua de aporte.

En el ejemplo de aplicación anterior, considerando una renovación del 5% diaria, se tiene:

Volumen agua de la piscina = 500 m³

Renovación diaria (5%) = 25.000 l/día

Renovación durante 10 horas = 2.500 l/h

Temperatura del agua de red = 10°C

Temperatura del agua del vaso = 25°C

Considerando un intercambiador de placas PWA 6 11 – 24 placas Inox 316 L con 20 kW de potencia:

Ts agua de red = 16.9 °C

Ts agua vaso = 18.1 °C

Por tanto, el ahorro en consumo de energía con este intercambiador del ejemplo sería de:

20 kW x 10 h/día = 200 kW h/día

200 kW h/día x 270 días/año = 54.000 kW h/año

Y suponiendo un precio medio de 0.10 €/ kW , se obtiene un ahorro de 5.400 €/año.

2.2.8. Potencia necesaria para puesta a régimen

En este apartado se calcula la potencia calorífica necesaria para la puesta a régimen del vaso de la piscina tras llenarse completamente con agua de red. Dicha potencia se calcula a través de la expresión:

$$Q_{PR} = \frac{V \times D \times C_E \times (T_{ag} - T_x)}{T}$$

donde:

Q_{PR} = potencia puesta a régimen (w)

V = volumen de agua de la piscina

D = densidad del agua (1000 kg / m³)

C_E = calor específico del agua (1,16 w x h / kg °C)

T_{ag} = temperatura agua piscina

T_x = temperatura llenado red

T = tiempo de puesta en régimen.

Para el ejemplo considerado con 500 m³ de volumen de agua de la piscina, temperatura de agua de red de 10 °C, temperatura final a alcanzar en el vaso de 25°C, y suponiendo un tiempo de puesta a régimen de 48 horas, se obtiene un valor de la potencia de puesta a régimen de:

$$T = 48 \text{ horas: } Q_{PR} = 181.250 \text{ W}$$

Suponiendo 72 horas de puesta a régimen:

$$T = 72 \text{ horas: } Q_{PR} = 120.833 \text{ W}$$

2.2.9. Necesidades de A.C.S.

En el ejemplo de aplicación utilizado puede suponerse que diariamente se tiene un número total de duchas de 350, cada una de 25 litros, lo cual supone un consumo de agua de:

$$C_{ACS} = 350 \text{ duchas /día} \times 25 \text{ l/ducha} = 8.750 \text{ l/día}$$

Y por tanto, suponiendo el agua de red a 10°C y la temperatura de la ducha a 38°C, el consumo energético en agua caliente sanitaria sería de:

$$Q_{ACS} = C_{ACS} \times C_E \times (T_{AC} - T_R) = 284.200 \text{ W h /día}$$

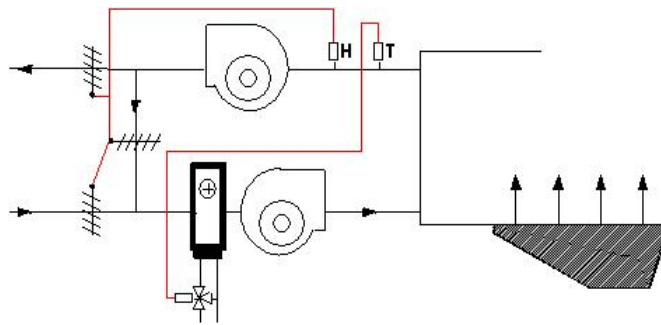
3. EXPOSICIÓN DE LOS POSIBLES SISTEMAS DE DESHUMECTACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

3.1. Deshumidificación mediante aire exterior.

Consiste en deshumectar el local de la piscina mediante la introducción de aire exterior que se encuentre en condiciones de humedad absoluta inferior a las del aire ambiente interior.

Es necesario realizar un tratamiento térmico de dicho aire exterior, para llevarlo a las condiciones del aire interior; además será necesario recalentarlo para vencer las pérdidas de calor por transmisión del recinto.

A continuación se muestra un esquema con este tipo de instalación, en el que se representa la unidad de tratamiento de aire con la batería de calor necesaria para recalentar el aire exterior:



El caudal de aire exterior a introducir para deshumectar el local es función de la diferencia de humedad absoluta entre el aire exterior y el aire ambiente interior, y viene dado por la expresión:

$$Me \text{ (kg/h)} = Q_{AE} \times D_{AE} \times (W_{AI} - W_{AE})$$

donde:

$Me \text{ (kg/h)}$ = flujo másico de vapor de agua a evacuar

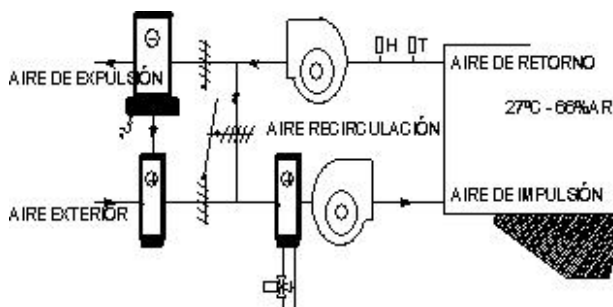
$Q_{AE} \text{ (m}^3\text{/h)}$ = caudal de aire exterior

$D_{AE} \text{ (kg/m}^3\text{)}$ = densidad del aire exterior

$W_{AI} \text{ (kg ag / kg as)}$ = humedad absoluta del aire ambiente interior

$W_{AE} \text{ (kg ag / kg as)}$ = humedad absoluta del aire exterior

Es importante tener en cuenta, que según la IT.1 del nuevo RITE en las piscinas climatizadas se ha de aplicar la recuperación de calor del aire de extracción teniendo en cuenta la eficiencia mínima y las pérdidas de presión máximas dadas para más de 6000 h anuales de funcionamiento. Por tanto, en la figura siguiente se muestra un esquema tipo de una instalación con deshumectación mediante introducción de aire exterior con recuperador de calor del aire de extracción:

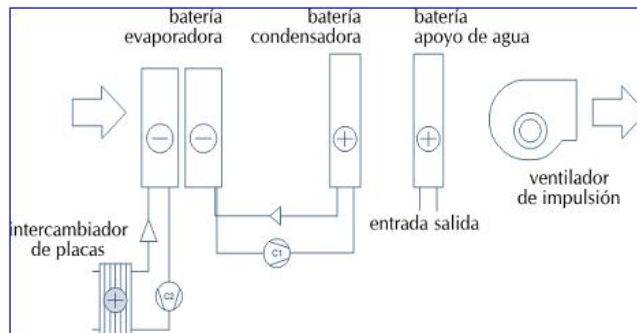


En este esquema se ha introducido también un cajón de free-cooling, obligatorio según la IT.1 del nuevo RITE para todo subsistema de climatización de potencia térmica nominal mayor que 70 kW en régimen de refrigeración. Con este cajón de free-cooling se permite aprovechar en media temporada las características del aire exterior para controlar la temperatura interior de forma gratuita. La apertura o cierre de las compuertas irá controlada en función de la humedad de retorno y de la humedad del aire exterior.

3.2. Deshumidificación mediante equipos especiales bomba de calor para piscinas.

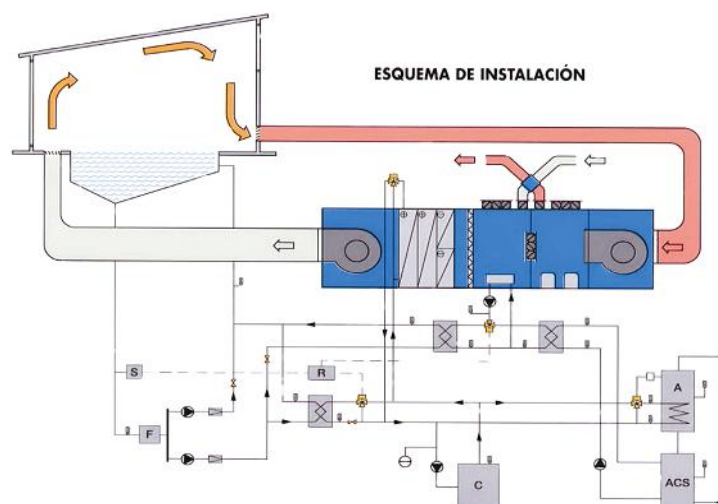
Aplicación a este tipo de instalaciones de equipos bomba de calor en los que la deshumectación del aire del local se consigue mediante el proceso de enfriamiento y deshumectación del aire a través de una batería de frío de expansión directa.

En la siguiente figura se muestra como ejemplo el esquema de principio de una bomba de calor para piscinas con 2 circuitos frigoríficos:



Este es el esquema básico de funcionamiento, pero estos equipos pueden incorporar también secciones de free-cooling, varias etapas de filtración, baterías de apoyo eléctrico o de agua caliente, intercambiador de placas para puesta a régimen del agua de la piscina en los modelos mayores, etc.

Ejemplo de instalación con bomba de calor de 2 circuitos:



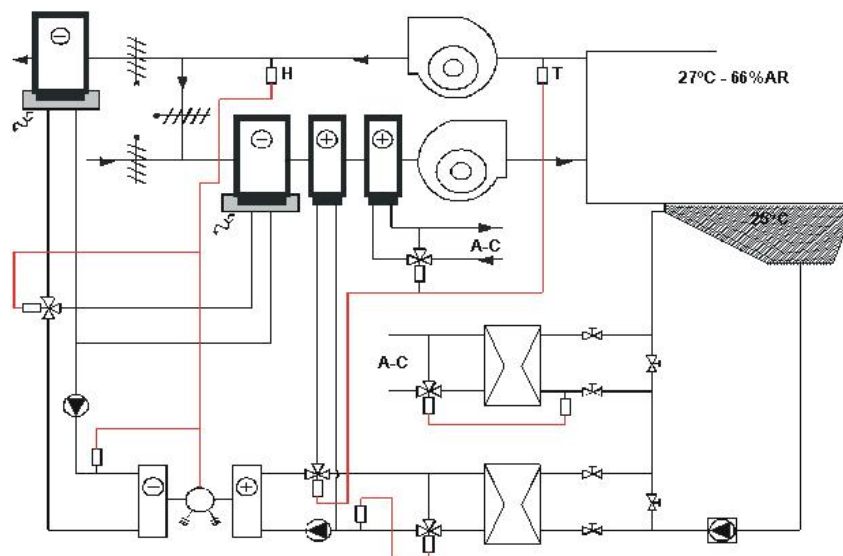
En el esquema puede verse que el condensador de agua del equipo, puede usarse indistintamente para calentamiento del agua del vaso de la piscina o para precalentamiento del agua caliente sanitaria, que después se ha de pasar a un segundo depósito para calentarse hasta 60 ó 70°C y evitar así problemas de legionela.

Para mantener las condiciones de confort durante todo el año, en estos equipos se tiene también como opcionales posibles la opción de aerocondensador remoto, de forma que parte del calor de condensación interior se elimine sobre el aire exterior cuando no sea requerido en el local. Este opcional está disponible a su vez en dos versiones, eliminar el calor de condensación sobre el agua de la piscina, para aplicaciones en las que no sea necesario calentar la temperatura del vaso, o bien eliminar el calor de condensación recuperado sobre el aire interior, de forma que la condensación que se realiza sobre el aire interior puede pasar a realizarse sobre el aerocondensador, en función de las necesidades de confort, para las situaciones en las que no sea necesario recalentar el aire interior de salida del evaporador.

3.3. Deshumidificación mediante equipos agua-agua o de cuatro ciclos y climatizador.

El proceso de deshumectación de este último caso es el mismo que con bomba de calor pero utilizando como batería fría una batería de agua de un climatizador, alimentada de una planta enfriadora de agua con condensación por agua.

Esquemas instalación con equipos agua-agua y climatizador:



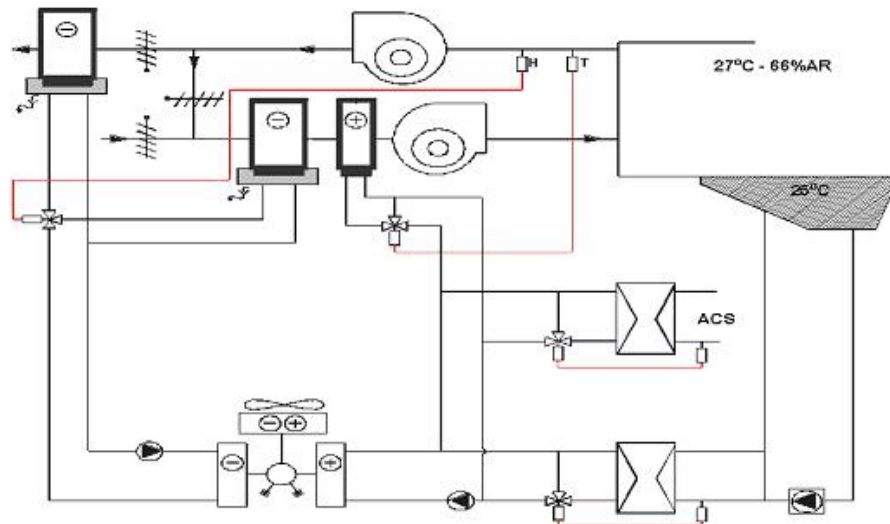
En este esquema se puede apreciar que la recuperación de calor del aire de extracción se hace mediante una batería de agua fría conectada al circuito de agua del evaporador del equipo frigorífico.

Hay que hacer notar que la selección del grupo frigorífico se debe hacer en función de la potencia necesaria para la deshumectación más la potencia de recuperación de calor del aire de extracción. La potencia térmica del condensador sirve como base para el calentamiento del recinto y la compensación de las pérdidas del agua del vaso, teniéndose que suplir la potencia total necesaria con otro generador de calor (en el esquema A-C, Agua de caldera).

Esquema instalación con equipos de 4 ciclos y climatizador:

Los equipos de 4 ciclos son bombas de calor que permiten 4 modos de funcionamiento:

- Planta enfriadora condensada por aire.
- Bomba de calor aire/agua.
- Bomba de calor agua/agua.
- Desescarche en el ciclo bomba de calor aire/agua.



4. Resultados del sistema de deshumectación con aire exterior y con bomba de calor para piscinas en el ejemplo de aplicación utilizado.

Ejemplo de aplicación: piscina semiolímpica (25 x 12.5 m²) ubicada en Madrid, con 70 ocupantes en el recinto, de los cuales 40 de ellos son bañistas. Aire interior: 27°C / 65% HR, 0.0158 kg agua / kg aire.

Bajo estas hipótesis en el apartado 2.1.2 se obtuvo con la fórmula de Bernier un flujo másico de agua evaporada en el recinto de **58.5 kg/h**.

Se calcularán las necesidades para distintos puntos de temperatura y humedad exterior de Madrid.

Estos puntos han sido obtenidos a partir de la publicación realizada por ATECYR centro, con el título "Datos trihorarios de Madrid".

Los puntos a estudiar correspondientes a Madrid-Barajas, se muestran en la siguiente tabla, donde se indican para cada uno de ellos, los valores de temperatura seca (Ts), temperatura húmeda (Th), sus respectivos valores de frecuencias acumuladas (Fa) y de frecuencias del intervalo correspondiente (Fi). Estos valores corresponden a un período de 20 años por lo que tienen alta fiabilidad.

Ts (°C)	Fa (%)	Fi (%)	Th (°C)
-4	0,5	0,5	-4,0
0	4,4	3.9	-0,4
4	12,7	8.3	3,1
12	47,3	34.6	9,8
20	76,3	29.0	14,9
26	89,2	12.9	18,1
28	92,2	3.0	18,9
32	97,0	4.8	20,6
38	99,9	2.9	22,0

4.1. Resultados con sistema de deshumectación mediante introducción de aire exterior.

Aplicando la expresión dada en el apartado 3.1:

$$Me \text{ (kg/h)} = Q_{AE} \times D_{AE} \times (W_{AI} - W_{AE}),$$

y despejando en dicha fórmula el caudal de aire exterior Q_{AE} , se obtienen los siguientes valores de caudal necesario:

Ts (°C)	Th (°C)	W_{AE}	D_{AE} (Kg/m3)	Me(Kg/h)	Q_{AE} (m ³ /h)
-4	-4,0	0,003	1,305	58,5	3.798
0	-0,4	0,004	1,285	58,5	4.100
4	3,1	0,004	1,266	58,5	4.531
12	9,8	0,007	1,225	58,5	6020
20	14,9	0,009	1,189	58,5	8.200
26	18,1	0,010	1,163	58,5	10.704
28	18,9	0,010	1,155	58,5	11.258
32	20,6	0,011	1,138	58,5	13.185
38	22,0	0,010	1,116	58,5	12.190

En esta tabla se observa que a medida que disminuye la diferencia de humedad absoluta del aire exterior con el aire ambiente, aumenta de forma considerable el caudal de aire exterior necesario.

La potencia calorífica que es necesario aportar al aire exterior para llevarlo a las condiciones del aire interior, se calculan a través de la expresión:

$$P_{cal} \text{ (W)} = Q_{AE} \times C_{AE} \times (T_{AI} - T_{AE})$$

donde:

P_{cal} (W) = potencia calorífica necesaria

Q_{AE} (m³/h) = caudal de aire exterior

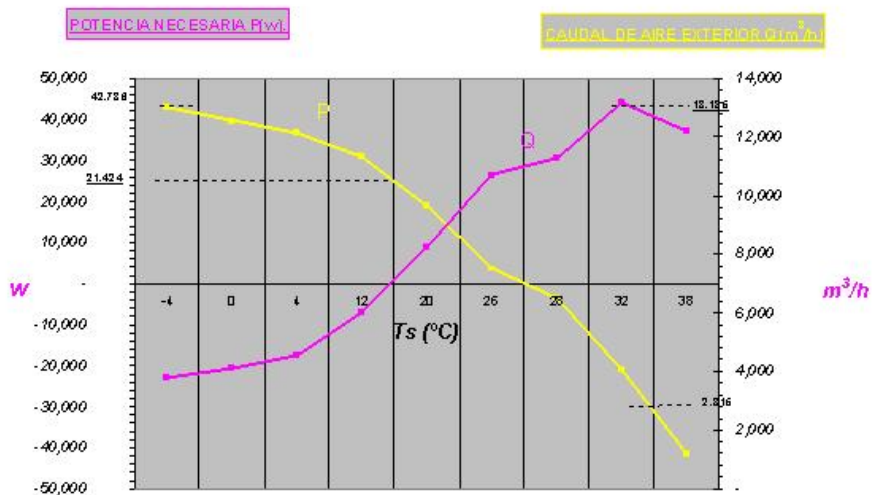
C_{AE} (Wxh/m³ °C) = calor específico del aire exterior

T_{AI} y T_{AE} (°C) = Temperatura del aire interior y exterior

Sustituyendo en dicha expresión los valores de temperatura considerados en el ejemplo y el caudal de aire exterior obtenido en la tabla anterior, se obtiene la potencia calorífica en cada punto; aplicando así mismo los factores del intervalo correspondientes, se obtienen los siguientes valores de potencias medias de la siguiente tabla:

Ts (°C)	Fa (%)	Fi (%)	Th (°C)	Q _{AE} (m ³ /h)	P _{cal} (W)	PP (W)	PPA(W)
-4	0,5	0,5	-4,0	3.798	42.786	214	214
0	4,4	3.9	-0,4	4.100	39.616	1.545	1.759
4	12,7	8.3	3,1	4.531	36.724	3.048	4.807
12	47,3	34.6	9,8	6020	30.807	10.659	15.466
20	76,3	29.0	14,9	8.200	19.001	5.510	20.977
26	89,2	12.9	18,1	10.704	3.465	447	21.424
28	92,2	3.0	18,9	11.258	-3.619		
32	97,0	4.8	20,6	13.185	-20.880		
38	99,9	2.9	22,0	12.190	-41.663		

En la siguiente gráfica se han representado los puntos de caudal de aire exterior y potencia necesaria en función de la temperatura exterior:



Puede verse como el caudal de aire exterior necesario para deshumectar sube en el rango de valores estudiados de temperaturas y humedad, teniendo un máximo en las condiciones de 32°C Ts / 20.6 Th, donde la diferencia de humedad con el aire ambiente interior es mínima.

Se observa también como la máxima potencia necesaria a instalar para llevar el aire exterior a las condiciones del aire ambiente interior es de 42.786 W y la potencia media ponderada acumulada (PPA) realizada sobre la base a las frecuencias de temperaturas es de 21.424 W. Igualmente se observa que a partir de 27°C, como es lógico, la potencia

calorífica necesaria para aportar al aire exterior cambia de signo, ya que a partir de dicho valor de temperatura exterior es necesario refrigerar el aire exterior para poder mantener la temperatura interior controlada todo el año.

Se ha de tener en cuenta además la necesidad de incluir en este tipo de instalación un recuperador de calor, que permita aprovechar la energía del aire de extracción precalentando el aire exterior antes de introducirlo al local.

Como se ha indicado anteriormente en el apartado 3.1, la IT.1 del nuevo RITE marca las exigencias de eficiencia mínima y pérdidas de presión máximas de los recuperadores de calor del aire de extracción de las instalaciones de piscinas climatizadas, definiendo que en este tipo de instalaciones se ha de considerar siempre los valores correspondientes a sistemas con más de 6000 horas de funcionamiento. Así, la eficiencia mínima definida en el RITE para este tipo de instalaciones varía entre un 50% y un 75%, dependiendo del caudal de aire exterior introducido.

Para el ejemplo de aplicación utilizado, en el que se ha obtenido una potencia media ponderada acumulada de 21.424 W, y un caudal máximo de aire exterior necesario de 13185 m³/h (3'66 m³/s), si se supone un período de funcionamiento de 3000 horas de uso aproximadamente (9 meses, 11 horas diarias), y una eficiencia de recuperación de un 60%, se obtiene un consumo energético de:

Consumo de energía = 21'424 kW x 3000 h/año x 0.60 = 35.563 kWh/año

4.2. Resultados con sistema de deshumectación mediante bomba de calor para piscinas.

En este apartado se van a analizar los resultados obtenidos en el ejemplo de aplicación utilizado, pero utilizando en la instalación una bomba de calor especial para piscinas.

En el cálculo de esta instalación, es necesario tener en cuenta los requisitos de caudal mínimo de aire exterior de ventilación, ya que según la IT.1 del nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE), en el caso de piscinas cubiertas climatizadas, el caudal mínimo de aire exterior de ventilación debe ser de 2.5 dm³/s por m² de superficie de lámina de agua y playa.

Como se ha visto en el apartado anterior, en este tipo de instalaciones de piscinas cubiertas donde la humedad relativa del aire interior es elevada, es posible obtener una deshumectación mediante la introducción de aire exterior generalmente en mejores condiciones de humedad que el aire interior. Por tanto, en el cálculo de la bomba de calor es importante tener en cuenta la deshumectación asociada al caudal mínimo de aire de ventilación obligatorio.

En el ejemplo de aplicación estudiado se tiene una superficie de lámina de:

$$S_{\text{lámina agua}} = 25 \times 12.5 = 312.5 \text{ m}^2.$$

Suponiendo un 50% adicional de superficie de playa, se tiene una superficie total de:

$$S_{\text{total}} = 312.5 \times 1.5 = 468.75 \text{ m}^2 \text{ (lámina de agua + playa)}$$

Teniendo en cuenta esta superficie total, el caudal mínimo de aire exterior de ventilación resultante, según las exigencias del nuevo RITE, es:

$Q_{\text{min AE}} = 2.5 \text{ (dm}^3/\text{s m}^2) \times 468.75 \text{ (m}^2) = 1171.88 \text{ dm}^3/\text{s} = 4218.75 \text{ m}^3/\text{h}$, por lo que se considerará como caudal mínimo de aire exterior de ventilación un caudal de 4200 m³/h.

En la siguiente tabla se representa la deshumectación que se obtendría con dicho caudal de aire exterior en las distintos puntos estudiados de temperatura y humedad de Madrid:

$$Me \text{ (kg/h)} = Q_{\text{AE}} \times D_{\text{AE}} \times (W_{\text{AI}} - W_{\text{AE}})$$

Ts (°C)	Th (°C)	W _{AE} (kgw/kgas)	D _{AE} (Kg/m3)	Q _{AE} (m3/h)	Me (kg/h)
-4	-4	0,003	1,305	4200	70
0	-0,4	0,004	1,285	4200	64
4	3,1	0,004	1,266	4200	63
12	9,8	0,007	1,225	4200	45
20	14,9	0,009	1,189	4200	34
26	18,1	0,01	1,163	4200	28
28	18,9	0,01	1,155	4200	28
32	20,6	0,011	1,138	4200	23
38	22	0,01	1,116	4200	27

En esta tabla se observa que en las condiciones más favorables del aire exterior donde la humedad absoluta del mismo es bastante inferior a la humedad del aire ambiente interior, basta con el aire mínimo de ventilación para deshumectar el local.

En cualquier caso, en las condiciones más desfavorables del aire exterior (32°C Ts / 20.6 °C Th) la deshumectación obtenida mediante el aire mínimo de ventilación es de 23 kg/h, por lo que al tener en cuenta este valor para la selección de la bomba de calor, el equipo sólo tendrá que deshumectar la diferencia entre lo que deshumecta el aire exterior mínimo de ventilación y las necesidades del local, consiguiéndose en definitiva una reducción del tamaño de la bomba de calor necesaria.

En el ejemplo de aplicación, donde las necesidades de deshumectación del local calculadas son de 58.5 kg/h, se tiene por tanto, que la deshumectación máxima a aportar en la bomba de calor debe ser de:

$$\text{deshumidif. max. requerida en BdC} = 58.5 - 23 = 35.5 \text{ kg/h,}$$

por lo que el equipo necesario sería una BCP-180, con una deshumectación en condiciones nominales de 36.1 kg/h.

En la siguiente tabla se representan las necesidades de deshumectación de la bomba de calor en cada una de las condiciones exteriores anteriores, y el factor de utilización aproximado del equipo en función de la demanda:

Ts (°C)	Th (°C)	Me requerida (kg/h)	Me aire exterior vent. (kg/h)	Me requerido BCP (kg/h)	Factor uso (%)
-4	-4	58,5	70	-	-
0	-0,4	58,5	64	-	-
4	3,1	58,5	63	-	-
12	9,8	58,5	45	13,2	36,63%
20	14,9	58,5	34	24,5	67,98%
26	18,1	58,5	28	30,2	83,57%
28	18,9	58,5	28	30,4	84,11%
32	20,6	58,5	23	35,6	98,50%
38	22	58,5	27	31,3	86,74%

A partir de estos valores, se obtiene un factor medio aproximado de utilización de la bomba de calor de un 51%.

Las características técnicas de la bomba de calor BCP-180 seleccionada en el ejemplo son las siguientes:

Potencia de deshumectación: 36.1 kg/h
 Potencia frigorífica total: 53.3 kW
 Potencia frigorífica sensible: 28.2 kW
 Potencia condensador de aire: 45 kW
 Potencia condensador de agua: 20.7 kW
 Potencia calorífica total: 65.7 kW
 Potencia absorbida: 12.4 kW

Potencia calorífica útil = Pcalorífica total – Pfrigorif sensible = 37.2 kW

COP = Pcalorífica total / Pabsorbida = 5.29

Por tanto, la potencia recuperada en la BCP se obtiene como:

Precuperada = Pcalorífica útil – Pabsorbida = 37.2 – 12.4 = **24.8 kW**

Suponiendo 3000h de funcionamiento anuales y el factor de uso obtenido anteriormente, puede estimarse un valor de ahorro de energía con el uso de la bomba de calor de:

Energía ahorrada = 24.8 kW x 3000 h/año x 0.51 = 37.944 kWh/año

Suponiendo un precio medio de 0.10 €/kW h. Se obtiene un ahorro anual de:

Ahorro = 37.944 kW h/año x 0.10 €/kW h = 3.794 €/año, lo que permite la amortización del equipo seleccionado en los dos primeros años de funcionamiento del mismo.

5. Ventajas e inconvenientes de cada uno de los sistemas.

5.1. Deshumectación mediante introducción de aire exterior.

Ventajas:

- Fácil instalación y control

Desventajas:

- Grandes caudales de aire
- Consumo de energía elevado para el calentamiento del aire exterior
- Dificultad para mantener las condiciones de confort, sobre todo en situaciones en las que la humedad absoluta del aire exterior esté cercana o por encima a la del aire interior, en cuyo caso no será posible mantener las condiciones interiores exigidas.
- Dificultad para realizar una correcta distribución del aire, al manejarse caudales dispares de aire.
- Están limitadas las condiciones para recuperación de energía.

5.2. Deshumectación mediante bomba de calor para piscinas

Ventajas:

- Simplicidad en la instalación
- Rendimiento energético elevado
- Amortización rápida de la inversión
- Sistema respetuoso con el medio ambiente
- Se garantizan las condiciones de confort.

5.3. Deshumectación mediante equipos de 4 ciclos y climatizador.

Ventajas:

- Alta eficiencia y recuperación máxima de energía
- Autonomía plena para confort total
- Sistema válido para cualquier tamaño de piscina
- Posibilidad de refrigeración o climatización de otras zonas (oficinas, vestuarios, etc)
- Con el climatizador posibilidad de tener cualquier configuración posible (free-cooling, recuperación, etapas de filtración, baterías de calentamiento, etc).

6. Implicación e integración de las exigencias de contribución solar mínima para el calentamiento del agua en la climatización de piscinas cubiertas, según el Código Técnico de la Edificación (CTE).

En la sección HE 4 del Código Técnico de la Edificación se especifica que en las instalaciones de climatización de piscinas cubiertas, la contribución solar mínima anual debe ser entre un 30% y un 70% en función de la zona climática de la que se trate:

Se ha visto anteriormente que en las instalaciones con bomba de calor para piscinas, a través del condensador del agua que incorporan estos equipos, se puede aprovechar parte del calor de condensación del equipo para el

mantenimiento de la temperatura del vaso de la piscina o bien para precalentar el agua caliente sanitaria.

Por tanto, según las exigencias definidas en esta sección HE 4 del CTE, podrían existir situaciones en las que el circuito de recuperación en agua de las bombas de calor no sea necesario, debido a que con el aporte de energía solar de la instalación se cubra la demanda de energía para calentamiento del agua caliente sanitaria y de piscina.

En estos casos, la solución alternativa es utilizar una bomba de calor acompañada de un aerocondensador exterior, de forma que el calor de condensación del circuito de recuperación de la bomba de calor tendrá que ser evacuado al exterior, opción que va en contra de la búsqueda del ahorro energético; por tanto, se debería haber previsto en el RITE que esta exigencia se produzca siempre que no exista otra alternativa que ya sea gratuita, o bien que el párrafo del RITE haga referencia a “cubrir con energía solar un porcentaje de la demanda no gratuita de la instalación”. En el caso de la bomba de calor con recuperación de calor en agua de piscina, la fuente de energía es gratuita puesto que se extrae del foco frío, que es el flujo de aire de la misma.