



---

## **Estudio comparativo de sistemas de recuperación de calor para la refrigeración de edificios:**

Recuperadores de calor y enfriamiento evaporativo indirecto.

---

Mayo de 2025



## CONTENIDO

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN                    | 3  |
| 2. RECUPERACIÓN DE CALOR           | 4  |
| 3. SITUACIÓN BASE PARA EL ESTUDIO  | 8  |
| 4. CASOS REALES DE ESTUDIO         | 14 |
| 5. REDUCCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO | 19 |
| 6. CONCLUSIONES                    | 20 |

## 1. INTRODUCCIÓN

La emergencia climática actual obliga a los equipos de diseño a reducir considerablemente el consumo energético de las instalaciones MEP en la edificación. El objetivo es conseguir edificios con un balance energético nulo, “Net Zero Energy Buildings” (NZEB), donde la baja demanda energética es cubierta mediante energía renovable generada *in-situ*. Con este fin, el uso de sistemas de recuperación de energía es indispensable para reducir los requerimientos energéticos en los edificios.

Una práctica esencial y habitual para reducir el consumo en climatización y ventilación de los espacios es la recuperación del calor que se extrae de dichos espacios climatizados hacia al exterior. De esta manera, el aire interior en verano, a unas condiciones de temperatura y humedad inferiores a las del exterior para el caso de refrigeración, sale del edificio pasando por el recuperador del climatizador, donde se transfiere energía entre el flujo de aire que entra y el que sale, antes de que el aire exterior a climatizar pase por las baterías de frío.

Según establece el artículo 15 del CTE DB HE Ahorro de energía, se debe conseguir un uso racional de la energía involucrada en el funcionamiento de los edificios, reduciendo su consumo y cubriendo una parte con energías de fuentes renovables. Los sistemas de recuperación de calor toman un papel importante para cumplir con estos objetivos. De hecho, el RITE especifica en su IT 1.2.4.5.2.1 que *“en los sistemas de climatización de los edificios en los que el caudal de aire expulsado al exterior por medios mecánicos sea superior a 0,5 m<sup>3</sup>/s, se recuperará la energía del aire expulsado”*. Este caudal afecta en la práctica a la totalidad de instalaciones dónde se requieran equipos de climatización, obligando a instalar sistemas de recuperación de energía, cuya eficiencia energética está marcada por el reglamento de Ecodiseño ERP2019. Actualmente, los equipos más utilizados en instalaciones de climatización son los recuperadores rotativos, de placas y, en algunas aplicaciones remotas, baterías.

Aunque la recuperación de calor se utiliza tanto en calefacción como refrigeración, este estudio se centra en el ahorro energético asociado a la refrigeración y a como aumentar la eficiencia de estos sistemas mediante un sistema de enfriamiento evaporativo indirecto.



Este documento presenta un estudio comparativo entre el ahorro energético en refrigeración obtenido con un recuperador de calor mediante enfriamiento evaporativo indirecto y entre un recuperador de calor tradicional de placas o rotativo. Para realizar este estudio, se ha utilizado para refrigeración dos zonas climatológicas diferenciadas, siendo Madrid un ejemplo de clima continental con temperaturas más extremas y humedad reducida, y Barcelona un clima mediterráneo con temperaturas más suaves y humedades elevadas.

## 2. RECUPERACIÓN DE CALOR

En general, los equipos de climatización cumplen la función de proporcionar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa y calidad del aire adecuadas, extrayendo el aire viciado interior y renovándolo con aire fresco exterior. Como se ha comentado, los recuperadores de calor desempeñan el rol de reducir el consumo energético asociado, recuperando un alto porcentaje de energía que de otro modo se derrocharía. Su funcionamiento se basa en hacer pasar el aire de extracción y el de impulsión mediante los respectivos ventiladores, a través de un intercambiador de calor aire-aire ubicado normalmente en el propio climatizador. La misión de los recuperadores es cruzar los flujos de aire exterior e interior sin llegarlos a mezclar, pero transfiriendo energía. De esta manera, el aire de impulsión es enfriado por el aire extraído del edificio.

### 2.1 Equipos de recuperación de calor

Los recuperadores de calor se pueden clasificar en sensibles o entálpicos según el tipo de calor que puedan transmitir.

**Los recuperadores de calor sensible** son aquellos en los que solo hay intercambio de temperatura entre los dos fluidos. De esta manera, se asegura que no hay cruce entre los aires de impulsión y extracción, siendo estos recuperadores ideales en entornos sanitarios, industriales o con atmósferas nocivas donde se quiera evitar la mezcla entre corrientes del aire de impulsión y extracción.

Mayoritariamente, estos recuperadores están formados por placas subdivididas en pasajes, formando conductos para el intercambio térmico entre el aire de impulsión y extracción. Los recuperadores estáticos de placas se pueden clasificar como:



#### De flujos cruzados:

Estos intercambiadores compactos ofrecen grandes superficies de intercambio en climatizadores, llegando a ofrecer niveles de eficiencia térmica superiores al 80%.



#### De flujos paralelos:

Estos recuperadores operan de la misma manera que los de flujos cruzados, ya que discurren totalmente separados, pero adicionalmente se desplazan en paralelo y a contracorriente. Con esta pequeña diferencia se pueden obtener eficiencias entorno al 85-90%. Sin embargo, estos recuperadores son más largos y requieren de más espacio en los equipos de climatización.

**Los recuperadores entálpicos** son aquellos que, además de recuperar la energía sensible relacionada con la temperatura del aire, también recuperan parte del calor latente correspondiente a su humedad.



Estos recuperadores, compuestos por ruedas o tambores rotativos higroscópicos permeables al aire, permiten el intercambio de energía con el paso intermitente del material de la rueda por los flujos de aire de impulsión y extracción que se encuentran a contracorriente.

Los recuperadores entálpicos consiguen rendimientos globales superiores al 80%. El funcionamiento de estos equipos no asegura la estanqueidad del sistema, ya que siempre existe un caudal de by-pass entre impulsión y extracción, no siendo adecuados para entornos con olores o calidades de aire exigentes.

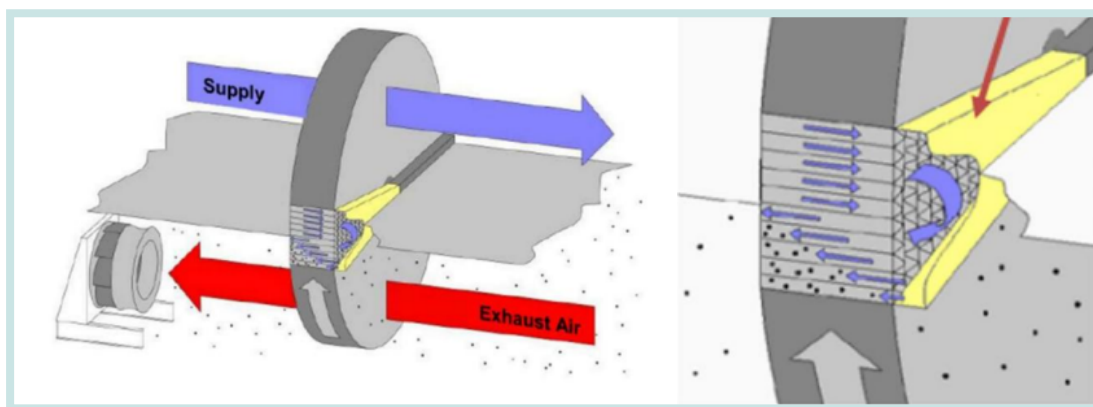


Figura 1: Esquema de operación de un recuperador de calor rotativo. Fuente: AFEC.

## 2.2 Enfriamiento evaporativo indirecto

Existe la posibilidad de aumentar la eficiencia de la recuperación de calor en el régimen de refrigeración, que representa una importante porción de la energía requerida a lo largo del año. Esto se puede conseguir reduciendo la temperatura del aire extraído del espacio antes de entrar al recuperador, mediante la vaporización de agua a dicha corriente de aire. Así, a mayor salto térmico mayor será la energía ahorrada en el recuperador, lo que conlleva un ahorro en la demanda energética de refrigeración del equipo.

Este enfriamiento se puede realizar idealmente hasta la saturación del aire extraído, donde la temperatura de bulbo seco y húmedo se igualan. Por lo tanto, las condiciones de temperatura y humedad del ambiente interior del edificio condicionan la temperatura hasta la que se puede reducir el aire extraído.

La Figura 2 muestra el funcionamiento del enfriamiento evaporativo indirecto en el diagrama psicrométrico. El aire de retorno A se enfría mediante un proceso a temperatura de bulbo húmedo constante (equivalente a un proceso casi adiabático) con la adición de agua pasando de una humedad específica  $x_A$  a  $x_B$  (el rendimiento de los equipos de pulverización del agua determina el grado de humedad relativa resultante).

Después, el aire de extracción es conducido al intercambiador de calor sensible dónde enfría, antes de su paso por las baterías de frío, el aire exterior desde  $t_D$  a  $t_E$  sin aumentar la humedad contenida. Como resultado, el aire extraído absorbe calor de la impulsión y se calienta desde  $t_B$  a  $t_C$  sin tampoco modificar su humedad específica.

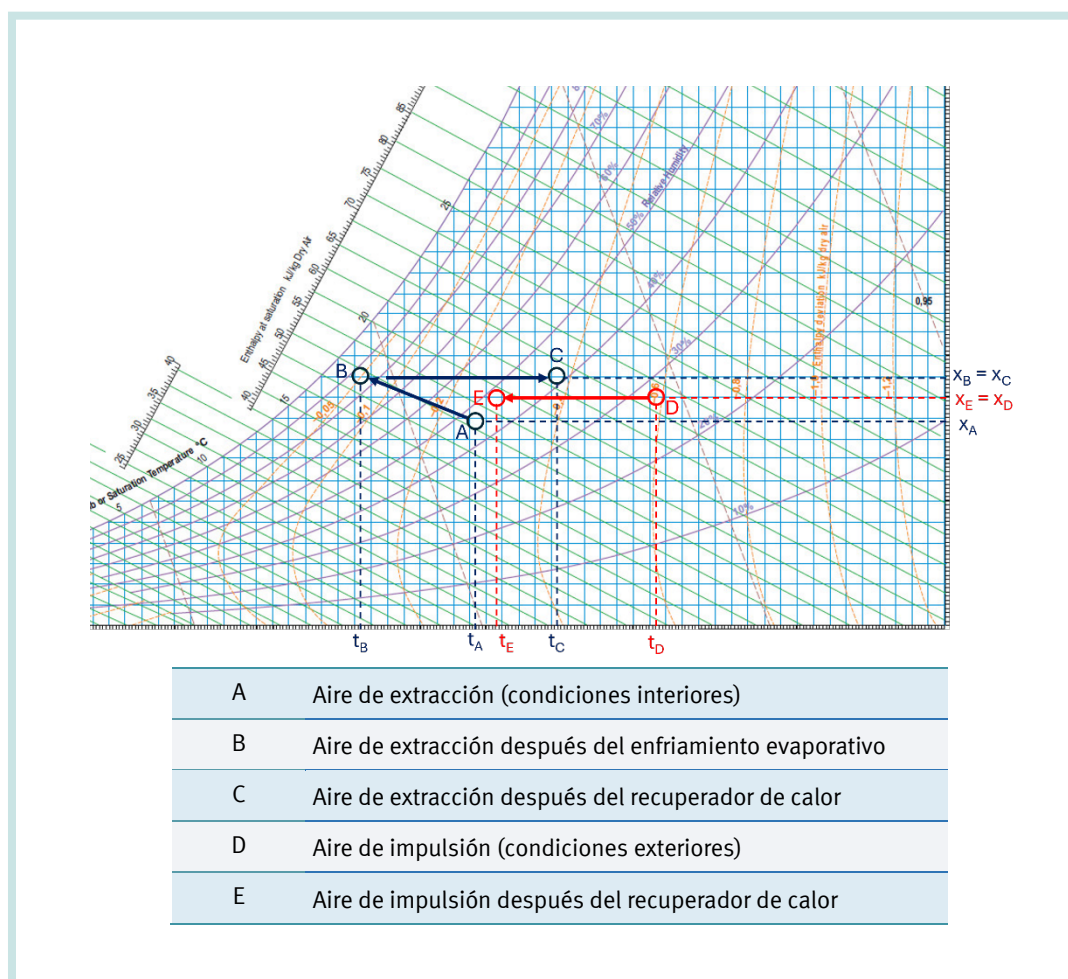


Figura 2: Localización de los estados del aire de impulsión y retorno en el diagrama psicrométrico.  
Fuente: Propia.

Como ilustra la Figura 3, la simpleza del proceso se basa en la pulverización de agua de red convencional, sin tratamiento térmico alguno, a la corriente de aire de extracción. En la **Sección 4** de este estudio se cuantifica el aporte necesario de agua durante un año, ya que, sin ser un consumo excesivo, es importante tener un orden de magnitud que permita una valoración objetiva del sistema.

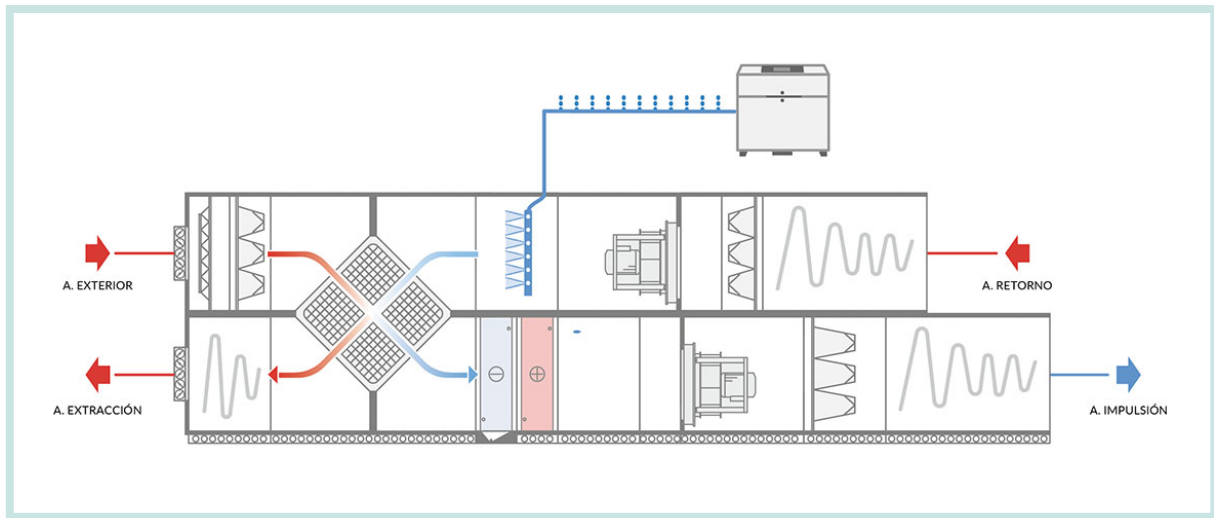


Figura 3: Esquema de un climatizador con módulo de enfriamiento evaporativo indirecto.  
Fuente: Propia.

A diferencia del enfriamiento evaporativo directo, en el que el aporte de humedad se realiza en el aire de impulsión, la adición de agua en el enfriamiento evaporativo indirecto se realiza al aire de extracción sin contacto humano, con lo que se puede realizar con fuentes de agua reaprovechadas siempre que estén debidamente filtradas y tratadas.

### 3. SITUACIÓN BASE PARA EL ESTUDIO

Una vez analizados los sistemas y detallado el proceso térmico, se propone cuantificar los ahorros obtenidos por el sistema. Para ello, se ha utilizado la base de datos climatológicos de *Meteonorm* v7 para Madrid y Barcelona, que nos permite obtener los parámetros utilizados para este estudio: temperatura exterior, humedad relativa (HR) y humedad específica para las 8.760 horas del año.

Además de las condiciones exteriores, se necesitan las condiciones del aire interior extraído (Figura 2, punto A) y las condiciones después de sufrir el proceso de enfriamiento evaporativo del aire extraído (Figura 2, punto B), que como se puede ver en la tabla representan valores conservadores y lejos de la saturación. Para el cálculo de recuperación de calor tradicional en recuperadores sensibles y entálpicos se utiliza el aire en condiciones de extracción sin enfriar (Figura 2, punto A).

|                                                                               | Temperatura<br>[°C] | Humedad relativa<br>[%] | Humedad específica<br>[g vapor/kg aire seco] |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------------------------|
| Condiciones aire extraído del interior del espacio                            | 25                  | 50                      | 9,9                                          |
| Condiciones del aire extraído después del proceso de enfriamiento evaporativo | 19                  | 90                      | 12,4                                         |

Tabla 1: Condiciones del aire de extracción antes y después del enfriamiento evaporativo indirecto.

Tal y como se puede observar en la tabla anterior, el aire extraído del interior del edificio es enfriado y humidificado considerablemente antes de entrar en el recuperador de calor hasta valores muy inferiores a los del aire ambiente del interior del edificio. De esta forma, se consigue fácilmente rebajar en 6 °C la temperatura de entrada al recuperador de calor del aire extraído, lo que conlleva un intercambio térmico con la corriente de entrada más eficiente, que reduce aún más la temperatura del aire impulsado hacia el interior del edificio.

Para el balance energético llevado a cabo se han considerado las siguientes hipótesis:

Los equipos de recuperación de calor sensible serán capaces de ahorrar energía cuando la temperatura del aire exterior sea superior a la del aire de extracción, de manera que este pueda enfriar la impulsión. Además, la recuperación de calor solo se activará si se encuentra dentro del horario de funcionamiento de los equipos de climatización:

- Si  $T_{ext} > 25^{\circ}\text{C}$  y dentro de horario → Intercambiador de calor sensible

La recuperación de calor mediante enfriamiento evaporativo indirecto se podrá realizar cuando la temperatura del aire exterior sea superior a la del aire de extracción una vez enfriado. Como se puede observar, esta casuística se dará en más ocasiones que la anterior; es decir, se amplía el número de horas donde se puede recuperar calor en refrigeración.

- Si  $T_{ext} > 19^{\circ}C$  y *dentro de horario* → Enfriamiento evaporativo indirecto + intercambiador de calor sensible.

En ambos casos, no se recuperará energía si la temperatura del aire exterior es menor a la de la corriente de extracción.

- Si  $T_{ext} < 19^{\circ}C$  o  $(25^{\circ}C)$  o *fuera de horario* → Sin recuperación de calor.

En la recuperación de calor mediante rueda entálpica, tanto la temperatura como la humedad específica del aire exterior condicionan la cantidad de calor intercambiada. Así, para este caso se compara la supuesta entalpía final (h) de la impulsión con la inicial, de manera que:

- Si  $h_{exterior \text{ antes recuperación}} > h_{exterior \text{ después recuperación}}$  y *dentro de horario* → Enfriamiento entálpico mediante recuperador de calor rotativo.

### 3.1 Justificación matemática del estudio

En este apartado se muestra la metodología utilizada en el presente documento para cuantificar los ahorros energéticos conseguidos mediante la técnica de refrigeración evaporativa indirecta y la recuperación de calor.

Utilizando un climatizador de  $21.600 \frac{m^3}{h}$  de caudal de impulsión y una densidad del aire de  $1,20 \frac{kg}{m^3}$ , se obtiene un caudal másico de

$$\dot{m}_{aire} = 21.600 \cdot 1,20 = 25.920 \frac{kg_{aire}}{h}.$$

Teniendo en cuenta la consideración de que la eficiencia de recuperación de temperatura  $\eta_t$  del recuperador se mantiene constante para todo el rango de temperaturas exteriores

$$\eta_t = \frac{T_{imp_2} - T_{imp_1}}{T_{ret} - T_{imp_1}}$$

la temperatura final del aire de impulsión después de la recuperación de calor se puede obtener mediante la expresión

$$T_{imp_2} = T_{imp_1} + \eta_t(T_{ret} - T_{imp_1}).$$

De la misma manera, para el intercambio de calor latente mediante rueda entálpica, la humedad específica final se calculará con la eficiencia de humedad  $\eta_h$  mediante la expresión

$$\omega_{imp_2} = \omega_{imp_1} + \eta_h(\omega_{ret} - \omega_{imp_1}).$$

Una vez calculada la temperatura final del aire de impulsión después de la recuperación de calor, se debe comprobar si el enfriamiento lo ha condensado para poder conocer su cantidad de humedad específica. Para ello se compara  $T_{imp_2}$  con la temperatura de rocío asociada al aire exterior  $T_r$ , de manera que:

- Si  $T_{imp_2} > T_r \rightarrow$  La impulsión no condensa.
- Si  $T_{imp_2} < T_r \rightarrow$  La impulsión condensa.

La siguiente figura ejemplifica como el enfriamiento de un aire exterior a 32 °C y 50% HR hasta 19 °C conlleva su condensación con 100% HR.

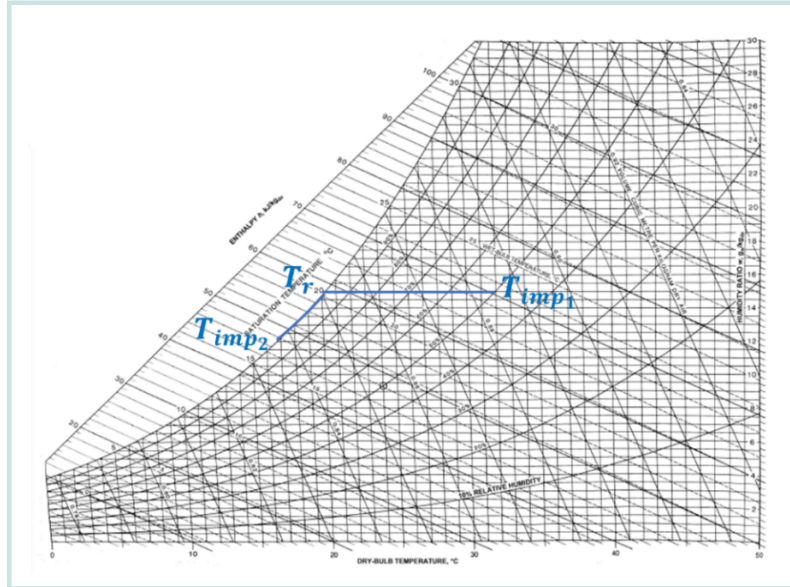


Figura 4: Ejemplificación en diagrama psicrométrico del enfriamiento del aire exterior con condensación.  
Fuente: Propia.

- $T_{imp2} > T_r$

Si el aire de impulsión no condensa, la humedad específica final será la misma que la del aire exterior

$$\omega_2 = \omega_1,$$

de manera que el aire queda totalmente definido en el diagrama psicrométrico ( $T_{imp2}, \omega_2$ ).

- $T_{imp2} < T_r$

Si el aire de impulsión condensa, su humedad relativa será del 100%. Para calcular su humedad específica, se deberán obtener la presión de saturación del vapor del agua  $P_{vap-sat}$  y la presión del vapor  $P_{vapor}$ , que, según la Ley de Dalton para una mezcla de aire y vapor de agua es  $P = P_{aire} + P_{vapor}$ .

La presión de saturación del vapor de agua se puede calcular mediante la fórmula de Antoine para vapor de agua

$$P_{vap-sat} = 10^{8,07 - \frac{1730,63}{233,43 + T_{imp2}}} \cdot 133,32 \text{ [Pa]}$$

La presión del vapor de agua se obtiene mediante ( $HR = 100\%$ )

$$P_{vapor} = \frac{HR}{100} P_{vap-sat} = P_{vap-sat} [Pa]$$

Finalmente, la humedad específica final del aire de impulsión se puede obtener mediante

$$\omega_2 = 0.62 \frac{P_{vapor}}{101325 - P_{vapor}}$$

De esta manera, el aire de impulsión condensado queda totalmente definido en el diagrama psicrométrico ( $T_{imp2}, \omega_2$ ).

La entalpía del aire enfriado puede calcularse mediante

$$h_2 = C_{p_{aire}} T_{imp2} + \omega_2 (\lambda + C_{p_{vapor}} T_{imp2}) \left[ \frac{kJ}{kg \cdot h} \right]$$

donde

$$C_{p_{aire}} = 1,006 \frac{kJ}{kg_{aire\ seco}}$$

$$\lambda = 2.501 \frac{kJ}{kg_{agua}}$$

$$C_{p_{vapor}} = 1,86 \frac{kJ}{kg_{agua}}$$

La energía ahorrada al año  $E_{total}$  mediante la recuperación de calor, y que no deberá aportar la batería de frío, puede calcularse como el sumatorio de la energía ahorrada cada hora multiplicada por el caudal másico del climatizador.

$$E_{total} = \frac{1}{3.600} \sum (h_1 - h_2) \cdot 25.920 \left[ \frac{kWh}{año} \right]$$

El ahorro económico resultante, teniendo en cuenta un rendimiento de la enfriadora  $SEER$  y tomando un precio de la electricidad  $0,15 \frac{€}{kWh}$ , será de:

$$AE = \frac{E_{total}}{SEER} \cdot 0,15 \left[ \frac{\text{€}}{\text{año}} \right]$$

Con el caudal másico del climatizador, se puede calcular la aportación horaria necesaria de agua para saturar el aire de retorno

$$\dot{m}_{agua} = 25.920 \cdot (0,01238 - 0,00988) = 64,80 \frac{kg_{agua}}{h}.$$

Teniendo en cuenta las horas de funcionamiento de recuperación de calor mediante enfriamiento evaporativo indirecto ( $t$ ), la aportación de agua total para condensar el retorno es de

$$\dot{m}_{agua} = 64,80 \cdot t \left[ \frac{kg_{agua}}{\text{año}} \right]$$

Con un precio aproximado de  $1,92 \frac{\text{€}}{m^3_{agua}}$ , el coste de condensar el retorno al año es de

$$C_{agua} = \frac{\dot{m}_{agua}}{1000} \cdot 1,92 \left[ \frac{\text{€}}{\text{año}} \right]$$

## 4. CASOS REALES DE ESTUDIO

Este estudio se realiza para dos edificios de oficinas, cuyo horario de funcionamiento de los equipos de climatización es de 7:00h a 20:00h. La ubicación de estos edificios, en Barcelona y Madrid, permite comparar los resultados en dos zonas climáticas diferenciadas.

Para compensar hipótesis y suposiciones realizadas en este estudio, se aplica un factor de minoración del 10% a los rendimientos de los equipos utilizados. Se supone un sistema de climatización con elementos terminales y aportación de aire exterior con un climatizador de aire primario. Este equipo propuesto puede proporcionar un caudal de aire exterior de 6.000 l/s, lo que serviría para atender unos 4.000 m<sup>2</sup> de oficinas.

Los parámetros de funcionamiento del climatizador y los recuperadores se presentan en la siguiente tabla.

| Parámetro                                                                | Valor                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Temperatura del aire de retorno                                          | 25 °C                                                   |
| Humedad relativa del aire de retorno                                     | 50 %                                                    |
| Humedad específica del aire de retorno                                   | 9,88 g agua/kg aire                                     |
| Temperatura del aire de retorno con enfriamiento evaporativo             | 19 °C                                                   |
| Humedad relativa del aire de retorno con enfriamiento evaporativo        | 90 %                                                    |
| Humedad específica del aire de extracción con enfriamiento evaporativo   | 12,38 g agua/kg aire                                    |
| Caudal de aire del climatizador                                          | 21.600 m <sup>3</sup> /h – 6.000 l/s – 25.920 kg aire/h |
| Eficiencia de temperatura del intercambiador de calor sensible de placas | 75 %                                                    |
| Eficiencia de entalpía del intercambiador de calor entálpico rotativo    | 72 %                                                    |
| Ratio de eficiencia energética de la planta enfriadora (SEER)            | 4                                                       |

Tabla 2: Parámetros de funcionamiento del climatizador y los recuperadores de calor estudiados.

A partir de los datos propuestos y con las condiciones de funcionamiento detalladas en el apartado anterior, se ha determinado la cantidad de horas que es favorable utilizar el Enfriamiento Evaporativo Indirecto antes del intercambiador de placas (1) o recuperar energía de forma convencional en verano a través de un intercambiador sensible (2) y rotativo (3).

| Recuperador del calor                          | Madrid  | Barcelona |
|------------------------------------------------|---------|-----------|
| Enfriamiento evaporativo indirecto (1)         | 1.943 h | 2.235 h   |
| Intercambiador de calor sensible (2)           | 1.110 h | 1.016 h   |
| Intercambiador de calor entálpico rotativo (3) | 505 h   | 1.512 h   |

Tabla 3: Horas de funcionamiento al año de los equipos de recuperación de calor.

Como se puede observar, el hecho de enfriar 6°C el aire extraído mediante enfriamiento evaporativo indirecto, permite un mayor número de horas de recuperación de calor. Las horas anuales de uso del intercambiador de calor sensible son similares en Barcelona y Madrid. En el caso de los recuperadores entálpicos estos pueden funcionar muchas más horas en Barcelona que en Madrid, dado que en Madrid la humedad específica del aire de extracción es superior a la del aire exterior en un mayor número de horas.

Los valores de la anterior tabla dan una idea general del uso de los distintos equipos. Sin embargo, la cantidad de calor que se transfiere con estos equipos depende tanto de las horas de uso como de las condiciones climatológicas del aire exterior en cada hora.

Las siguientes figuras muestran la evolución del ahorro de energía térmica en refrigeración usando los distintos métodos de recuperación de calor a lo largo del año. Como es de esperar, los ahorros más significativos se producen de mayo a octubre, ya que es cuando hay más demanda de refrigeración.

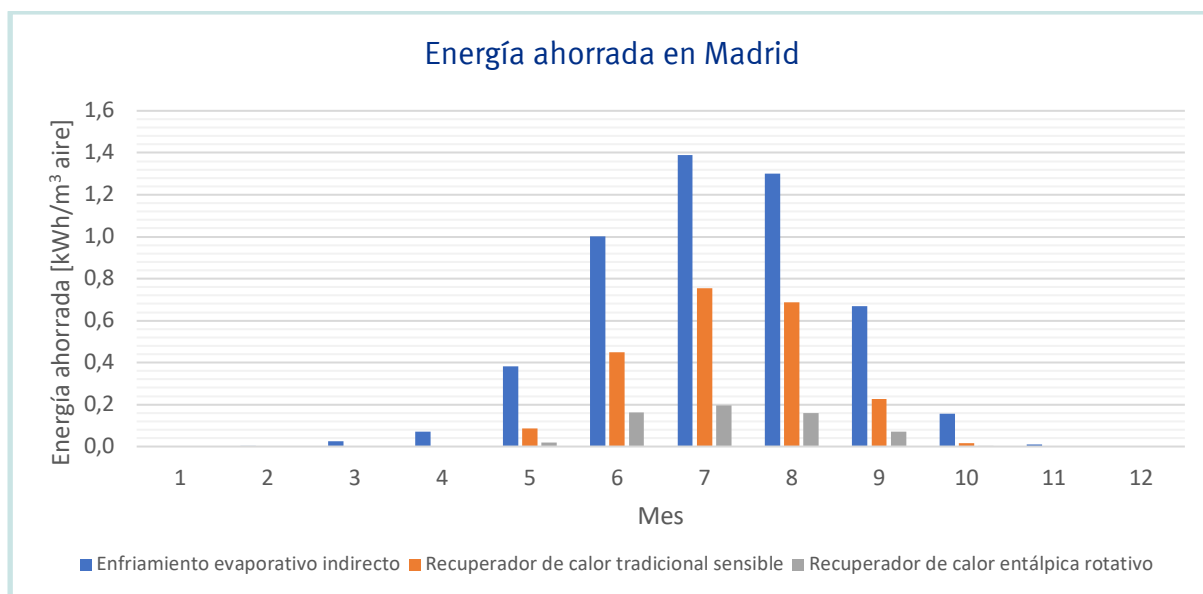


Figura 5: Evolución de los ahorros energéticos obtenidos en Madrid a lo largo del año.

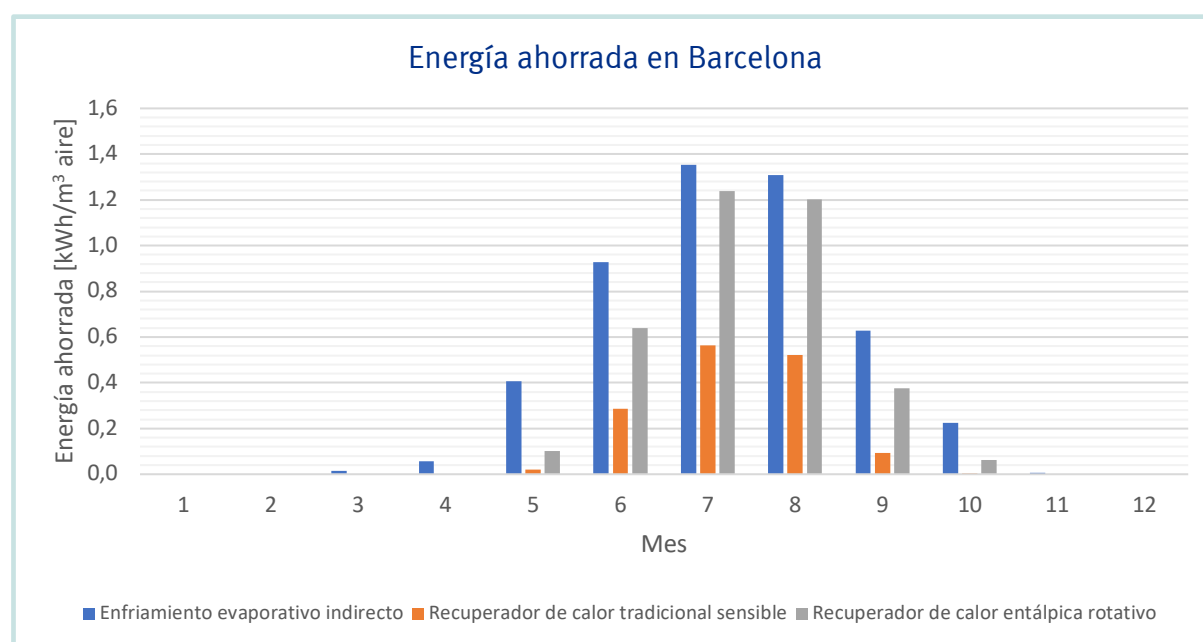


Figura 6: Evolución de los ahorros energéticos obtenidos en Barcelona a lo largo del año.

La siguiente figura muestra la cantidad de energía térmica ahorrada acumulada, en términos de kWh por m<sup>3</sup> de aire exterior tratado, durante un año.

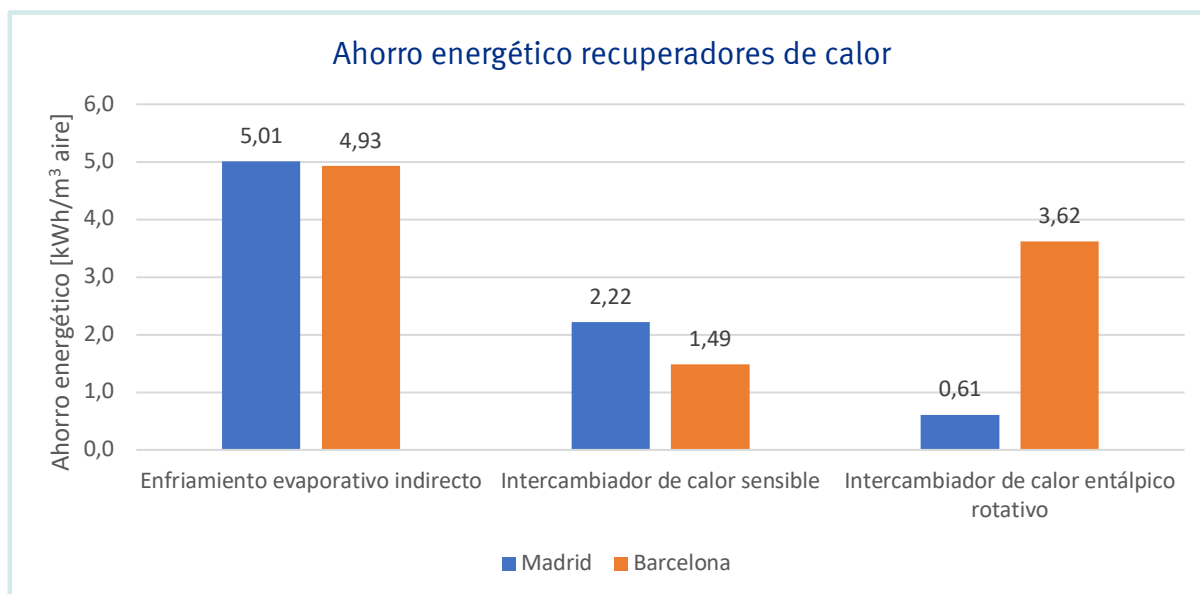


Figura 7: Energía ahorrada al año por metro cúbico de aire exterior tratado, con los distintos métodos de recuperación de calor.

Tal y como se aprecia en la Figura 7, el enfriamiento evaporativo indirecto sí puede aportar un ahorro significativo en la demanda energética. Por este motivo resulta interesante la sustitución de un recuperador de calor tradicional por otro recuperador que permita el encaje correcto con un módulo previo de enfriamiento evaporativo sin dañarlo y aprovechando al máximo esa corriente de aire enfriado y saturado. La siguiente tabla muestra los potenciales ahorros de energía térmica anuales, en términos de kWh por m³ de aire climatizado, que puede ofrecer el enfriamiento evaporativo indirecto frente métodos de intercambio de calor tradicionales.

|                                                                                                              | Madrid | Barcelona |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|
| Ahorro del sistema de enfriamiento evaporativo indirecto vs recuperador convencional de placas [kWh/m³ aire] | 2,79   | 3,44      |
| Ahorro del sistema de enfriamiento evaporativo indirecto vs recuperador convencional entálpico [kWh/m³ aire] | 4,40   | 1,31      |

Tabla 4: Energía ahorrada al año por metro cúbico de aire exterior tratado mediante el uso de enfriamiento evaporativo indirecto respecto a recuperadores de calor sensibles y entálpicos.

Finalmente, hay que considerar que el sistema de enfriamiento evaporativo indirecto conlleva un cierto gasto de agua. La cantidad de agua necesaria para saturar el aire extraído desde los 25°C y 50% (HR) hasta los 19°C y 90% (HR) es de 0,0025 m³ de agua por cada kg de aire tratado por hora (Figura 2: aporte de agua necesario para pasar de  $x_A$  a  $x_B$ ). Para el climatizador de 21.600 m³/hora

y con las horas previstas del sistema evaporativo indirecto para Madrid y Barcelona, y con un coste estimado de 1,9 €/m<sup>3</sup> de agua, resulta:

|                                                                                                                                                            | Madrid | Barcelona |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|
| Cantidad de agua consumida para enfriamiento evaporativo indirecto (m <sup>3</sup> /año) para climatizador de 21.600 m <sup>3</sup> /hora de aire exterior | 126    | 145       |
| Coste económico para saturar el retorno [€/año]                                                                                                            | 242    | 278       |

Tabla 5: Cantidad total de agua necesaria para saturar el retorno y coste económico asociado.

## 5. REDUCCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO

A modo resumen, resulta interesante referir todos los resultados anteriores a su repercusión al consumo eléctrico en unas oficinas. Los valores anteriormente presentados se refieren al ahorro en energía térmica, pero el consumo de cualquier edificio va asociado a la energía eléctrica. En este sentido, pues, para repercutir el ahorro en energía térmica a ahorro en energía eléctrica se considera el rendimiento estacional de una planta enfriadora con SEER 4.

Como se ha comentado anteriormente, el climatizador utilizado para el cálculo daría servicio a unos 4.000 m<sup>2</sup> de oficinas. Dado que el RITE obliga a la instalación de equipos de recuperación de calor en los climatizadores, los resultados de este apartado se presentan, por metro cuadrado de superficie, de utilizar el enfriamiento evaporativo indirecto en comparación con los equipos de recuperación tradicionales.

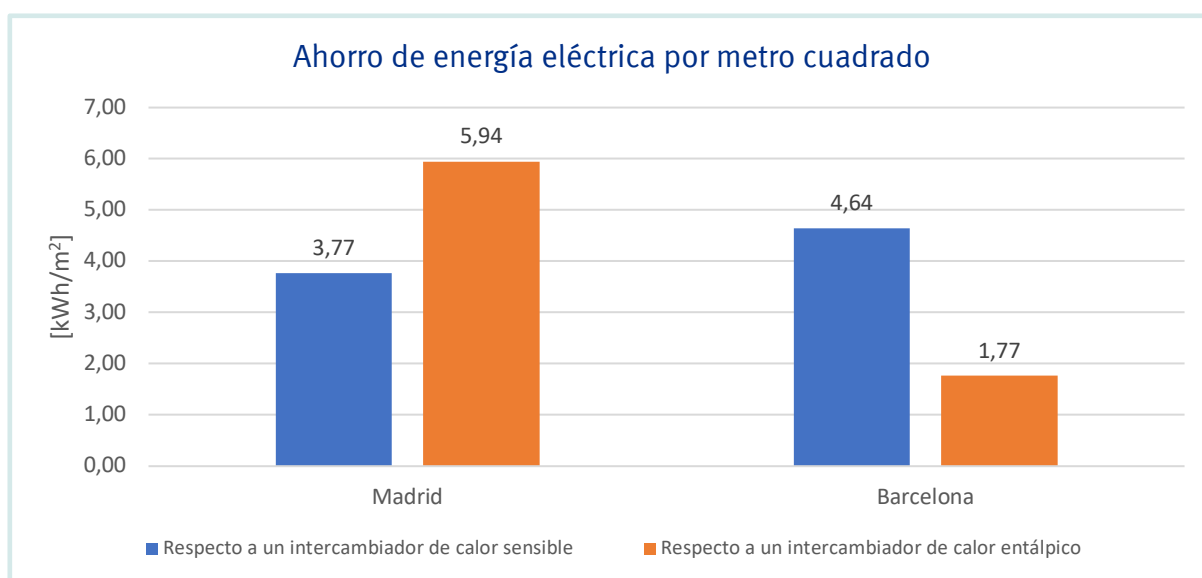


Figura 8: Ahorro de energía eléctrica por metro cuadrado del enfriamiento evaporativo indirecto respecto a los recuperadores de calor tradicionales.

Análogamente, el consumo de agua adicional correspondiente será de:

|                                                                                                     | Madrid | Barcelona |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|
| Cantidad de agua anual consumida para enfriamiento evaporativo indirecto (l/m <sup>2</sup> oficina) | 31,50  | 36,24     |

Tabla 6: Cantidad anual de agua necesaria para saturar el retorno por metro cuadrado de oficina.

## 6. CONCLUSIONES

Este documento ha presentado un estudio comparativo entre distintos métodos para la recuperación de calor en instalaciones de climatización para refrigeración. Para el estudio, se han realizado diferentes suposiciones y simplificaciones, como los rendimientos constantes en toda la gama de temperaturas o las activaciones inmediatas de los equipos de recuperación de calor en lugar de seguir un ciclo de histéresis, entre otros. Por esta razón, se han reducido los rendimientos de los equipos de recuperación de calor para compensar esta incertidumbre.

A modo resumen, el hecho de disminuir 6 °C el aire extraído antes de entrar al recuperador, permite un mayor número de horas anuales recuperando energía y que la válvula de la batería de frío trabaje a partir de una temperatura alrededor de los 20-22°C en vez de los 26-28°C aproximadamente y en función de las temperaturas exteriores de cada momento.

Como conclusión general, la recuperación de calor sensible mediante enfriamiento evaporativo indirecto (a temperatura constante de bulbo húmedo) del aire de extracción supone un ahorro energético adicional en comparación con los métodos tradicionales de recuperadores de calor de placas o rotativos. Por lo general, estos valores se mantienen tanto en Madrid como en Barcelona.

Aunque se trata de un proceso sin aporte energético (a parte del accionamiento de la pequeña bomba hidráulica), el enfriamiento evaporativo del aire requiere de un limitado consumo de agua para enfriar el aire de extracción. Con los valores presentados en este estudio, los consumos de agua anuales requeridos para el enfriamiento evaporativo indirecto de unas oficinas de 4.000 m<sup>2</sup> no superan el consumo promedio anual equivalente un hogar de 3 personas.



En definitiva, el enfriamiento evaporativo indirecto se trata de una técnica muy interesante para utilizar en aquellos edificios donde se requiera obtener un elevado grado de eficiencia energética. Por ello, se presenta como una de las muchas herramientas clave en el camino hacia los edificios de consumo energético nulo, contribuyendo al desarrollo de edificaciones más sostenibles y responsables con el medioambiente.



## JG INGENIEROS, S.A.

**JG** es una empresa de consultoría e ingeniería para edificios de alta complejidad, fundada en 1970 en Barcelona por Juan Gallostra Pedemonte. Cuenta con un equipo de 160 profesionales trabajando en oficinas ubicadas en España, Chile, Perú, Panamá y Marruecos.

La empresa desarrolla su actividad en cuatro áreas de negocio:



Proyectos completos de edificación.



Ingeniería de instalaciones técnicas.



Consultoría y soluciones digitales para contribuir al bienestar de las personas.



La mejora de la productividad y la sostenibilidad ambiental.

Además, JG Ingenieros es miembro fundador del **First Q Network**, red de ingenierías europeas de instalaciones, que tiene como objetivo desarrollar proyectos comunes a nivel europeo.