ABECE
ASOCIACIÓN BIOCLIMÁTICA

TEORÍA SOBRE CLIMATIZACIÓN ADIABÁTICA

Teoría sobre climatización adiabática

La climatización adiabática, comúnmente conocida como de enfriamiento evaporativo, es una tecnología comercial disponible hoy en día y que está contribuyendo en todo el mundo a la disminución del uso de los CFC´S y reduciendo por tanto el efecto invernadero y las emisiones de gas de las plantas productoras de energía.

Los avances en la tecnología de sustancias desecantes, permitirá el crecimiento del mercado de los evaporativos, al permitir su aplicación incluso en zonas húmedas. Estas dos tecnologías, asociadas, pueden llegar a desplazar en un futuro no muy lejano a los acondicionadores de compresor tradicionales en muchas aplicaciones.

A éste respecto existen dos tecnologías de enfriamiento evaporativo:

a. El enfriamiento evaporativo DIRECTO, donde el aire pasa a través de filtros humectados y se enfría directamente por medio de la evaporación.
b. El enfriamiento evaporativo INDIRECTO utiliza un intercambiador de calor que expulsa el aire húmedo y caliente al exterior mientras que el aire enfriado, sin ningún tipo de cambio, se canaliza al interior del edificio.

INDICE:

1 INTRODUCCIÓN 4
2 DEFINICIONES 4
2.1 Otras consideraciones 5
3 TECNOLOGÍAS DE CLIMATIZACIÓN ADIABÁTICA 6
3.1 Enfriamiento evaporativo directo (EED) 6
3.1.1 Consideraciones sobre el enfriamiento evaporativo directo 8
3.2 Enfriamiento evaporativo indirecto EEI 8
3.2.1 Tipos de enfriamiento evaporativo indirecto (EEI) 9
4 EEI MEDIANTE INTERCAMBIADOR DE CICLO MAISOTSENKO 11
4.1 Funcionamiento del intercambiador de ciclo Maisotsenko 11
4.1.1 Breve descripción del proceso de enfriamiento adiabático indirecto 13
4.2 Rendimiento del ciclo Maisotsenko 13
4.2.1 Comparativa del rendimiento del EEI con los sistemas convencionales 14
5 CONCLUSIONES 15
5.1 Su consideración como energía renovable 15
6 BIBLIOGRAFÍA 15

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1.- Proceso de enfriamiento evaporativo. 6
Figura 2.- Proceso de enfriamiento evaporativo. 7
Figura 3.- Temperatura termodinámica de bulbo húmedo. 7
Figura 4.- Diagrama del proceso de enfriamiento evaporativo directo. 8
Figura 5.- Diagrama del proceso de enfriamiento evaporativo indirecto. 9
Figura 6.- Proceso de los dos flujos de aire del EEI. 9
Figura 7.- Proceso de EEI + EED de aire primario. 10
Figura 8.- Núcleo intercambiador de calor a contraflujo. 12
Figura 9.- Esquema de funcionamiento del EEI 12
Figura 10.- Carta psicrométrica. 12
Figura 11.- Descripción del proceso de EEI de ciclo de Maisotsenko. 13
Figura 12.- Comparativa de la efectividad de “bulbo húmedo”. 14
Figura 13.- Comparativa del EEI con la bomba de calor convencional. 14

1 INTRODUCCIÓN

La política energética de la Comunidad Europea es impulsar un modelo energético basado en el aprovechamiento de las energías renovables minimizando así el impacto sobre el medio ambiente; de ahí la apuesta de los países miembros, y por ende, de España por este tipo de energías, propiciando su fomento para que su uso se extienda. A este respecto, existen diversos programas de ayudas que contribuye a facilitar el cumplimiento de los objetivos indicados.

Se trata de ayudas destinadas a la realización de actuaciones que fomentan el uso de energía procedente de fuentes renovables en consonancia con la iniciativa emblemática *"Una Europa que utilice eficazmente los recursos"* que contempla la Estrategia Europa 2020 para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

Estas ayudas contribuyen a fomentar modelos de inversión más innovadores cuya finalidad es la de promover cambios en los patrones de consumo y producción energética, con una utilización eficaz de los recursos que desligue el crecimiento económico del propio uso de recursos y de energía, reforzando la competitividad y promoviendo una mayor seguridad energética. La culminación de estos objetivos por todos los agentes sociales de los sectores nacionales, ya sean económicos o no, contribuyen a la tan necesaria revitalización de la economía y creación de empleo, objetivos prioritarios dada la actual coyuntura económica nacional, lo cual fundamenta y motiva la aplicación de este régimen a estas subvenciones.

Por todo lo anterior, se pretende ayudar a la diversificación del consumo de energía, optimizando con ello la eficiencia energética, y potenciando el uso de las energías renovables; estableciendo para ello las bases reguladoras y las normas de aplicación del régimen de subvenciones públicas para la adquisición de nuevas instalaciones, así como la mejora, ampliación o adaptación de equipos, sistemas e instalaciones de energías renovables.

De otro lado, y dentro del contexto en el que nos encontramos, debemos destacar el nuevo paradigma recogido en la Nueva DIRECTIVA (UE) 2018/2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, en cuanto a los siguientes aspectos:

- Acoge los **sistemas de refrigeración**.
- Incorpora un nuevo concepto sobre **energía ambiente**.

2 DEFINICIONES

A efecto del presente documento se tendrán en consideración las siguientes definiciones:

a) **Enfriamiento evaporativo DIRECTO (EED),** basado en el paso de aire a través de filtros humectados enfriándose directamente por medio de la evaporación.

b) **Enfriamiento evaporativo INDIRECTO (EEI),** utiliza un intercambiador de calor que expulsa el aire húmedo y caliente al exterior mientras que el aire enfriado, sin ningún tipo de cambio, se canaliza al interior del edificio.

c) **Edificio de consumo de energía casi nulo** (Directiva 2010/31/UE): un edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto (…). La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida la energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno.

d) **Energía procedente de fuentes renovables o energía renovable** (Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018): la energía procedente de fuentes renovables no fósiles, es decir, energía eólica, energía solar (solar térmica y solar fotovoltaica) y energía geotérmica, energía ambiente, energía mareomotriz, energía undimotriz y otros tipos de energía oceánica, energía hidráulica y energía procedente de biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración, y biogás.

e) **Energía ambiente:** la energía térmica presente de manera natural y la energía acumulada en un ambiente confinado, que puede almacenarse en el aire ambiente (excluido el aire de salida) o en las aguas superficiales o residuales.

f) **Calor y frío residuales:** el calor y el frío inevitables generados como subproducto en instalaciones industriales o de generación de electricidad, o en el sector terciario, y que se disiparía, sin utilizarse, en el aire o en el agua sin acceso a un sistema urbano de calefacción o refrigeración, cuando se haya utilizado o vaya a utilizarse un proceso de cogeneración o cuando la cogeneración no sea posible.

a) **Enfriamiento adiabático:** es un proceso físico mediante el cual se produce el enfriamiento del aire mediante la evaporación de agua previamente añadida. Para conseguir la evaporación de agua en la corriente de aire, se utiliza unos paneles húmedos que son atravesados por la corriente de aire. La consecuencia de este sistema será: una disminución de su temperatura seca y un aumento de la humedad absoluta y relativa.

g) **Calor de vaporización:** cantidad de energía necesaria para que la unidad de masa (kilogramo, mol, etc.) de una sustancia que se encuentre en equilibrio con su propio vapor a una presión de una atmósfera pase completamente del estado líquido al estado gaseoso.

b) **Calor latente de vaporización del agua:** cantidad de energía necesaria para transformar un gramo de agua en gas a temperatura constante. El calor de vaporización del agua es un valor alto, alrededor de 2.257 kJ/kg (539,4 cal/g) a 97 °C.

c) **Ciclo teórico de Maisotsenko:** se trata de una configuración para el enfriamiento evaporativo indirecto que comprende intercambio de calor en contracorriente en paso de aire húmedo y seco adyacente, y que fue propuesta ya en 1976 por Maisotsenko. En la Patente Soviética Nº SU620745 presentada el 9 de septiembre de 1976. La configuración presentada podría demostrar que en las temperaturas de la entrada, el aire podría acercarse a su temperatura del punto de rocío, que es considerablemente más baja que la temperatura del bulbo húmedo, que es el límite conseguido con el enfriamiento evaporativo directo. *Se construyeron modelos prácticos para demostrar los principios y temperaturas alcanzables, pero la tecnología nunca se ha desarrollado debido a su alto costo y complejidad.*

d) **Factor solar:** cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento, y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente. Se refiere exclusivamente a la parte semitransparente de un hueco. Este valor lo aporta el fabricante del vidrio y un valor próximo al 0, significa que dicho vidrio a penas permite el paso de la radiación solar. Un valor próximo a 1, todo lo contrario.

2.1 Otras consideraciones

Las bombas de calor que podrán considerarse como renovables son aquellas en las que la producción final de energía supere de forma significativa el insumo de energía primaria necesaria

para impulsar la bomba de calor. Esto se traduce en que el SPF del sistema (“Factor de Rendimiento Medio Estacional Estimativo”) debe ser mayor de 2,5.

3 TECNOLOGÍAS DE CLIMATIZACIÓN ADIABÁTICA

El **enfriamiento adiabático** o, comúnmente conocido como **enfriamiento evaporativo**, es un proceso físico mediante el cual se produce el enfriamiento del aire mediante la evaporación de agua previamente añadida. Para conseguir la evaporación de agua en la corriente de aire, se utiliza unos paneles húmedos que son atravesados por la corriente de aire. La consecuencia de este sistema será: *una disminución de su temperatura seca y un aumento de la humedad absoluta y relativa.*

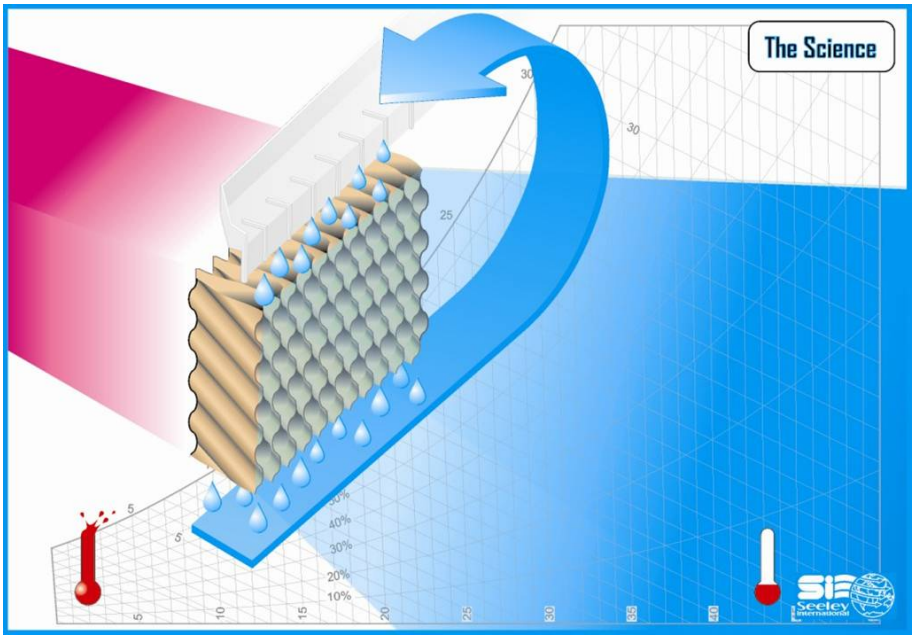

Figura 1.- Proceso de enfriamiento evaporativo.

¡Lo más importante es que cuánto más alta es la temperatura del aire externo, menor será la temperatura a la cual se puede llegar con estos equipos!

A éste respecto existen dos tecnologías de enfriamiento evaporativo:

c. El enfriamiento evaporativo DIRECTO, donde el aire pasa a través de filtros humectados y se enfría directamente por medio de la evaporación.
d. El enfriamiento evaporativo INDIRECTO utiliza un intercambiador de calor que expulsa el aire húmedo y caliente al exterior mientras que el aire enfriado, sin ningún tipo de cambio, se canaliza al interior del edificio.

3.1 Enfriamiento evaporativo directo (EED)

El enfriamiento evaporativo directo de una corriente de aire tiene lugar por evaporación de una parte de la masa de una corriente de agua que circula en **contacto directo** con la primera.

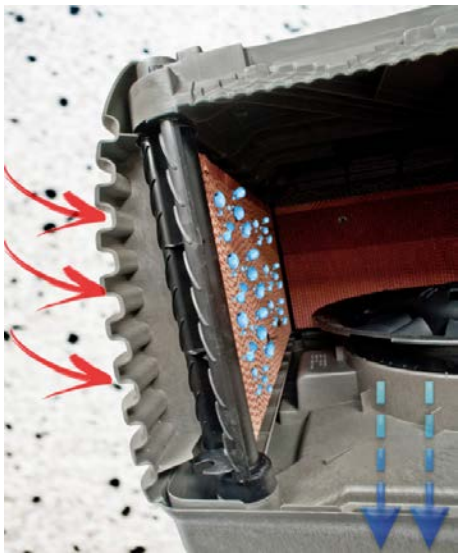

Figura 2.- Proceso de enfriamiento evaporativo.

Según Lewis, si se supone que la corriente de agua sea continuamente recirculada (por ejemplo de una bandeja) el agua alcanza una temperatura de equilibrio que es igual a la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada, mientras que el aire disminuye su temperatura seca hasta que ésta alcanza, después de un tiempo teóricamente infinito, la temperatura termodinámica de bulbo húmedo (ver figura 1).

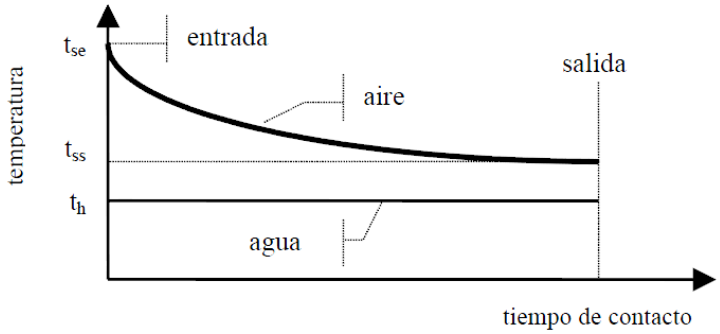

Figura 3.- Temperatura termodinámica de bulbo húmedo.

La diferencia de temperaturas seca t_s y húmeda t_h, del aire, siempre positiva, evidentemente, usualmente se denomina "depresión de bulbo húmedo" **DBH**:

$$DBH = t_s - t_h$$

Suponiendo una transformación casi adiabática (véase DTIE 3.01 "Psicrometría" de ATECYR; aquí se supone que $t_{he} \approx t_{hs} \equiv t_h$), se puede definir la eficiencia de saturación η a la relación:

$$\eta = \frac{t_{se} - t_{ss}}{t_{se} - t_h} = \frac{t_{se} - t_{ss}}{DBH}$$

donde:

t_{se} .....*temperatura seca del aire a la entrada del equipo, en ºC o K.*

t_{ss} .....*temperatura seca del aire a la salida del equipo, en ºC o K.*

t_h .....*temperatura termodinámica de bulbo húmedo, en ºC o K.*

De lo anterior se desprende que un climatizador evaporativo directo sólo puede producir aire que se aproxime a la temperatura de bulbo húmedo, supeditando su **eficiencia**, naturalmente, al diseño del

mismo y, a paridad de diseño, a su dimensionamiento, estando comprendida, normalmente, entre un mínimo del 80% y hasta el 95%, dependiendo del fabricante.

En la actualidad se utilizan intercambio de contacto (sin nebulización, a fin de evitar el peligro de proliferación de la legionela) a modo de paneles formado por un relleno de material plástico, celulósico, fibra de vidrio o, incluso, metálico, de forma tal que se obtenga una gran superficie de contacto por unidad de volumen del relleno.

El aire, que es el fluido "útil" a los efectos que aquí interesan (acondicionamiento de aire), se enfría (su temperatura seca disminuye), pero aumenta su humedad específica, tal y como se indica en la figura:

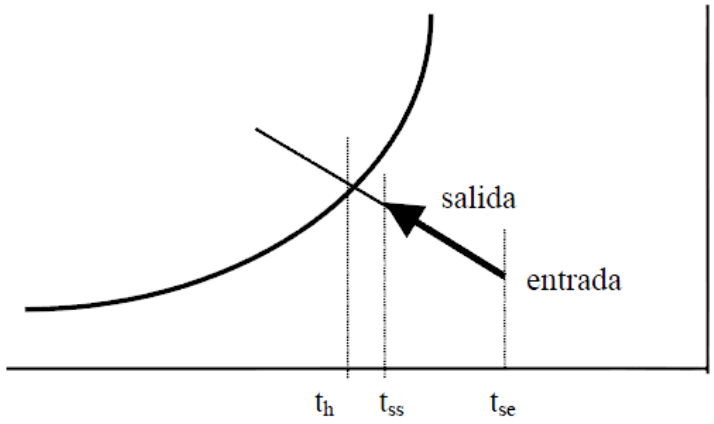

Figura 4.- Diagrama del proceso de enfriamiento evaporativo directo.

Nótese que este sistema es ideal en climas calurosos y secos, como el existente en la zona climática que nos ocupa, sin menoscabo de su utilización en el resto de zonas.

3.1.1 Consideraciones sobre el enfriamiento evaporativo directo

Se trata de una climatización ecológica que apenas genera emisiones, ofreciendo excelentes propiedades de enfriamiento y ventilación mediante un consumo mínimo de energía. Éste utiliza el agua como refrigerante evitando el uso de clorofluorocarbonos (CFC) empleados en los sistemas de compresores, que destruyen la capa de ozono.

El aire debe pasar del enfriador a la zona climatizada y, seguidamente, salir del edificio. Por eso, puertas y ventanas pueden permanecer abiertas, o se puede utilizar un extractor de aire, o en su caso la red de ventilación existente.

El sistema introduce 100% aire exterior, sin recircularlo. Pasando por los filtros humectados, el aire es enfriado, purificado y filtrado. Con este proceso se eliminan humos, olores, polvo en suspensión y aire interior viciado.

3.2 Enfriamiento evaporativo indirecto EEI

Desde hace tiempo existen tecnologías que utilizan las ventajas del enfriamiento evaporativo para reducir la temperatura del aire sin la adición de la humedad.

En los procesos de enfriamiento evaporativo indirecto una corriente de aire (aire secundario) viene enfriada adiabáticamente y luego se hace pasar a través de un intercambiador (o recuperador) de

calor. Por el otro lado del intercambiador pasa una corriente de aire (aire primario) que viene enfriada "sensiblemente" por el aire secundario, tal y como se representa en la figura:

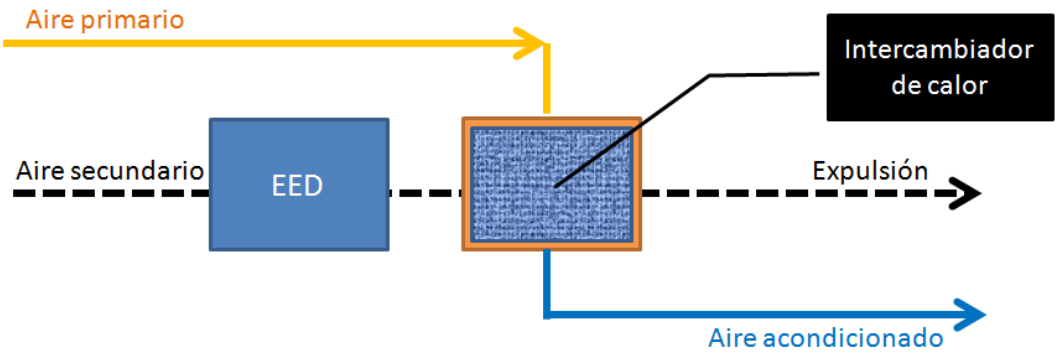

Figura 5.- Diagrama del proceso de enfriamiento evaporativo indirecto.

Que trasladado al diagrama psicrométrico se representa como sigue:

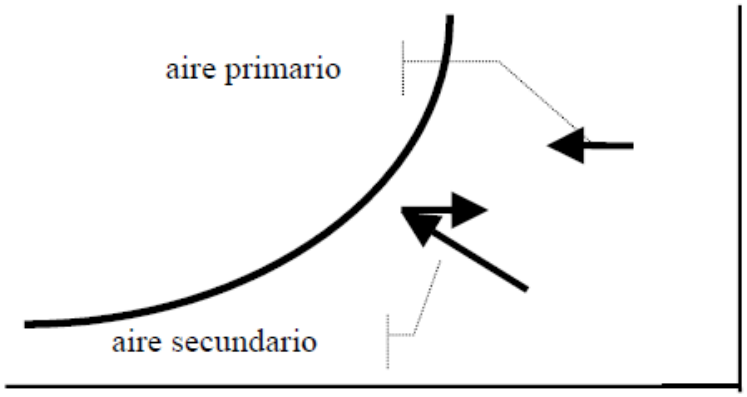

Figura 6.- Proceso de los dos flujos de aire del EEI.

El aire primario ha bajado su temperatura seca (enfriamiento sensible) de forma "casi" gratuita; en realidad se gasta energía por el paso de los fluidos a través de los equipos.

Nótese que en este caso, solo existe intercambio de energía, sin contacto directo entre los flujos, y por ende, sin riesgo, eventual, de contaminación por legionela.

3.2.1 Tipos de enfriamiento evaporativo indirecto (EEI)

El EEI puede obtenerse de diferentes formas, como sigue:

1. Mediante intercambiador de calor (figura anterior): el aire secundario atraviesa primero un aparato de enfriamiento evaporativo y luego pasa a través de un recuperador de calor (de placas, por ejemplo).

2. Mediante preenfriamiento del intercambiador de calor: engloban las dos funciones, humectando directamente una de las superficies de un intercambiador de calor (la superficie que viene en contacto con el aire secundario).

3. Mediante intercambiador de calor y preenfriamiento del aire primario: se realiza un enfriamiento del aire primario mediante una torre que enfría agua que, a su vez, es enviada a una batería agua-aire convencional que enfría el aire primario.

4. Mediante intercambiador ciclo Maisotsenko (M-Cycle): es una concepción termodinámica que captura la energía del aire mediante la utilización de la **energía renovable psicrométrica** disponible a partir del calor latente del agua que se evapora en el aire. Este ciclo es especialmente relevante en la campo del aire acondicionado (AC) debido a su potencial de enfriamiento por evaporación de punto de rocío.

En la actualidad existen equipos basados en la adaptación de los principios originales demostrados por Maisotsenko para maximizar el proceso de intercambio de calor y lograr un **súper-enfriamiento** (es decir, un enfriamiento por debajo de la temperatura del bulbo húmedo) del aire suministrado (seco). Esto ocurre porque la temperatura del bulbo húmedo del aire disminuye en los canales húmedos, pudiendo alcanzar temperaturas muy por debajo de las que de otro modo se podría lograr sin el citado super-enfriamiento.

3.2.1.1 Consideraciones sobre el (EEI)

- La eficiencia de los tres primeros tipos descritos alcanza, fácilmente, valores superiores al 60%, dependiendo solamente del dimensionamiento del aparato, aparte, claro está, de su diseño.
- Se comprende que el aire primario en salida del EEI puede ser objeto de otros tratamientos térmicos: un aparato de EED, una batería de refrigeración, etc.
- Precisamente la combinación de los dos sistemas EED y EEI es la que mayores beneficios puede aportar desde el punto de vista energético a un sistema de acondicionamiento de aire, tal y como se recoge en la siguiente figura:

  El aire primario es pretratado en una primera etapa de enfriamiento sensible mediante intercambiador de calor (EEI), y posteriormente se someta una segunda etapa de enfriamiento evaporativo, propiamente dicho, EED.

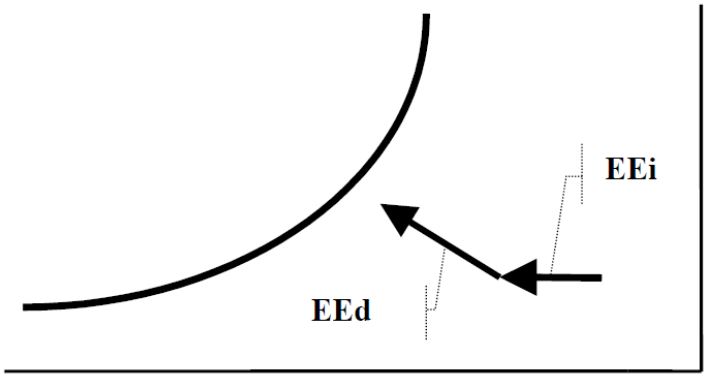

Figura 7.- Proceso de EEI + EED de aire primario.

- Con ello, en muchas épocas del año las condiciones del aire a la salida del conjunto son suficientes para mantener en los locales acondicionados las condiciones de bienestar más estrictas.
- El aire primario será siempre el aire exterior a introducir en los locales.
- Como fluido secundario también se puede emplear aire exterior. Se comprende, sin embargo, que la eficiencia del conjunto se verá limitada por ser el aire exterior caliente y, por tanto, obtenerse relativamente poco beneficio de la recuperación de calor. Por ello, en sistemas de climatización para el bienestar de las personas, sin embargo, es evidente que se debe emplear el aire de retorno de los locales como aire secundario, por estar en condiciones mejores que el

aire exterior para recibir primero un enfriamiento evaporativo y, luego, ceder su "frío" al aire exterior (aire primario) que pasa por el otro lado del recuperador.

El estándar ASHRAE Nº 143-2000 define varias categorías de EEI. No obstante, ninguna de estas categorías define directamente al equipo climatizador de ciclo Maisotsenko, dado a que **éste es esencialmente un tipo de intercambiador de calor integrado en el evaporativo indirecto**, tal y como se pondrá de manifiesto en el presente documento.

4 EEI MEDIANTE INTERCAMBIADOR DE CICLO MAISOTSENKO

Su enfoque es similar al enfriamiento evaporativo tradicional porque no contiene refrigerantes sintéticos y solo usa agua y movimiento del aire para enfriarlo. Como los climatizadores evaporativos, usa un motor eléctrico impulsando un ventilador y un sistema de control y distribución de agua.

No obstante, difiere radicalmente en el uso de *–un intercambiador de calor a contraflujo ultra eficiente-*. Esto significa que el sistema puede usar evaporación natural para súper enfriar el aire, pero sin agregarle humedad. El aire frío producido por el equipo puede ser equivalente al producido por sistemas a refrigeración convencional, con temperaturas que se aproximan a la temperatura del punto de condensación del ambiente (Tª de rocío).

El aire aportado al edificio es frío sin agregarle humedad, siendo expulsado al exterior una vez refrigerado el mismo.

4.1 Funcionamiento del intercambiador de ciclo Maisotsenko

Este tipo de climatizador reduce la temperatura del aire a través de una superficie de intercambio de calor que es impermeable al agua. En un lado de la superficie del intercambiador de calor, la evaporación del agua produce temperaturas frías tanto en el agua misma, como en el aire, permitiendo el intercambio de calor al aire entrante en el otro lado de la superficie del intercambio de calor. Por lo tanto, el aire primario (exterior), en el canal seco, se enfriará sensiblemente sin cambiar su contenido de humedad.

Se trata de un núcleo intercambiador de calor a contraflujo, donde:

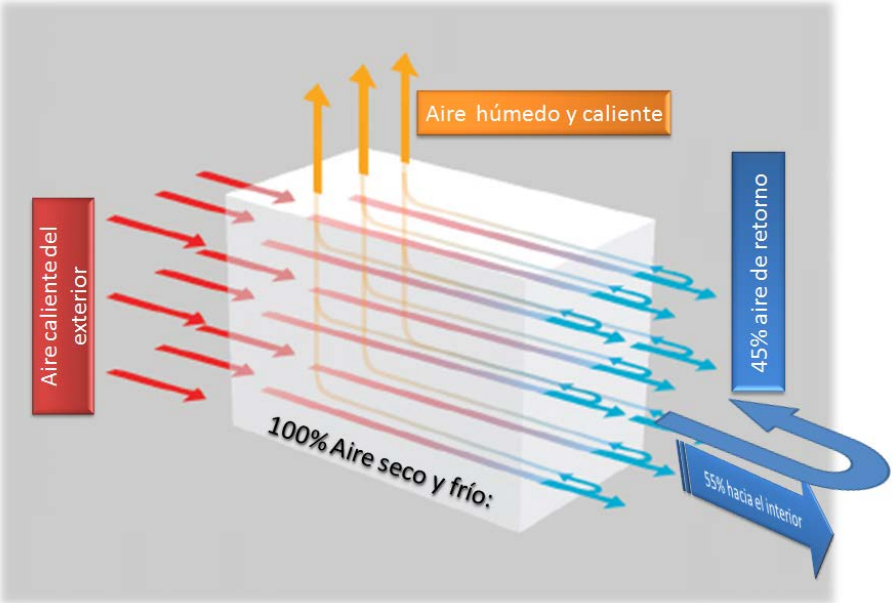

Figura 8.- Núcleo intercambiador de calor a contraflujo.

→ *Existen canales secos y húmedos, alternados en todo el núcleo del intercambiador.*
→ *Todo el aire pasa a lo largo de los canales secos sin agregarle humedad adicional.*
→ *La fracción de aire que retorna a lo largo de los canales húmedos gana humedad dado que éstos están continuamente humedecidos con agua. Este aire húmedo es expulsado fuera del edificio.*
→ *No se transfiere humedad a través de las membranas entre los canales secos y húmedos, solamente se transfiere temperatura (calor).*
→ *El calor se saca del aire en los canales secos a través de la membrana hacia el aire que pasa por los canales húmedos.*
→ *De este modo los canales secos se enfrían progresivamente pero sin ganar humedad.* ***El aire seco y frío se pasa entonces al edificio****.*

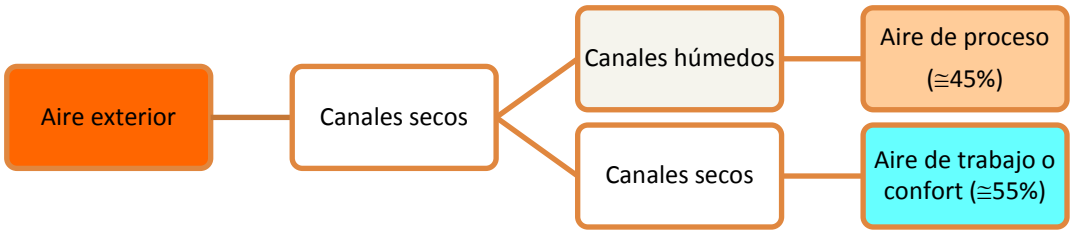

Figura 9.- Esquema de funcionamiento del EEI

Cabe señalar que el enfriamiento sensible del aire no sólo reduce la temperatura del bulbo seco, sino también su temperatura del bulbo húmedo (dado que no incrementa su humedad; el proceso discurre a través de la línea horizontal del ábaco psicrométrico).

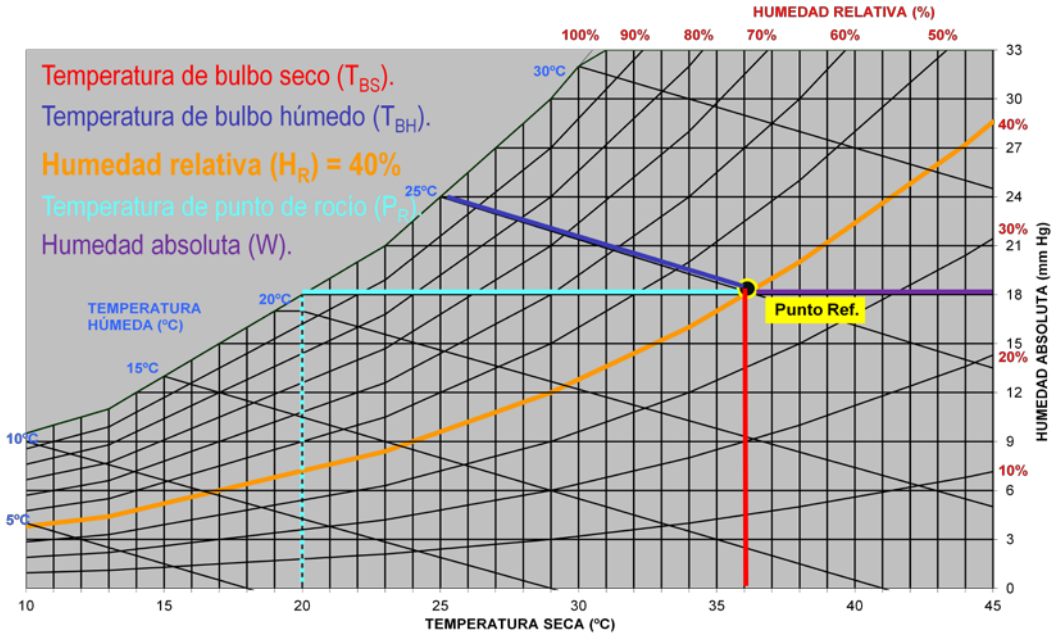

Figura 10.- Carta psicrométrica.

Se tiene una tecnología vanguardista, innovadora y más avanzada, basada en un **intercambiador de calor a contraflujo ultra eficiente** (no agrega humedad al aire que enfría), cuyo rendimiento

puede **desafiar al de los mejores sistemas de aire acondicionado tradicional**, alcanzando para las condiciones climáticas de Andalucía (SCV4), temperaturas de confort: **T_{bs} < 18 ºC**, ¡SIN ADICIÓN DE HUMEDAD!

4.1.1 Breve descripción del proceso de enfriamiento adiabático indirecto

a) Puesto que este aire retornado tiene una temperatura de bulbo húmedo baja, las superficies del canal húmedo alcanzarán temperaturas próximas a la temperatura del bulbo húmedo, que por ende, será bastante baja (❷).

b) Esta temperatura significativamente más baja intensifica aún más el intercambio de calor al canal seco, reduciendo aún más la temperatura del bulbo húmedo de la porción que retorna por el canal húmedo.

c) Este proceso continúa intensificando continuamente los procesos de intercambio de calor y evaporación hasta que las temperaturas de salida comienzan a aproximarse al punto de condensación del aire entrante (punto de rocío T_{dp}).

d) Téngase en cuenta que la temperatura final suministrada está realmente por debajo de la temperatura del bulbo húmedo del aire exterior, lo que resulta en una efectividad del bulbo húmedo superior al 100%.

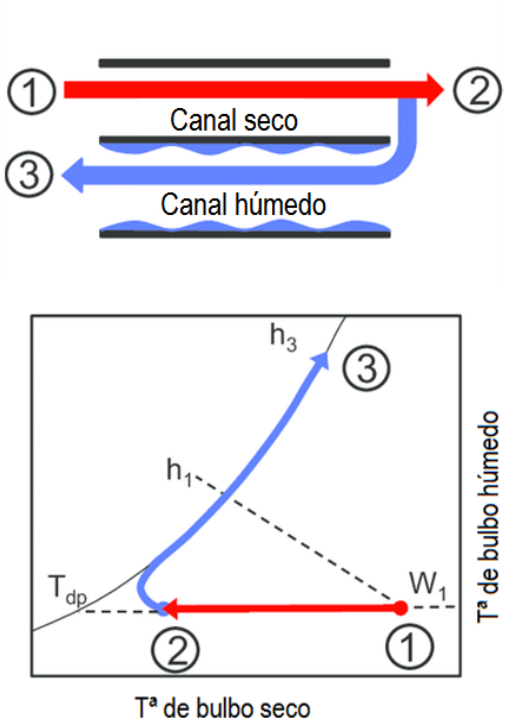

Figura 11.- Descripción del proceso de EEI de ciclo de Maisotsenko.

En el límite, con intercambio de calor y evaporación ideal, la temperatura entregada puede acercarse al punto de rocío del aire entrante (≈12 ºC, en nuestra zona).

Debe tenerse en cuenta que un climatizador EEI puede enfriarse a temperaturas inferiores a la temperatura del bulbo húmedo entrante y, por lo tanto, puede tener una eficacia del bulbo húmedo superior al 100% (≈125%).

4.2 Rendimiento del ciclo Maisotsenko

Tal y como se pondrá de manifiesto en el correspondiente anexo de cálculo para nuestro caso de estudio, se tiene que:

La efectividad del "bulbo húmedo" del EEI es aproximadamente un 125%, frente al 85% en los EED.

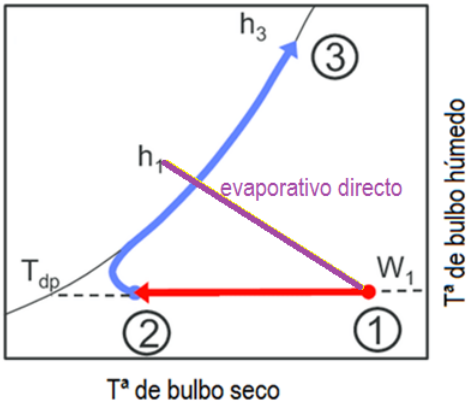

Figura 12.- Comparativa de la efectividad de “bulbo húmedo”.

4.2.1 Comparativa del rendimiento del EEI con los sistemas convencionales

Sea el gráfico siguiente (extraído de la Universidad de Australia Meridional Informe "Pruebas in situ de enfriador de asistente climático en Roxby Downs", por el Dr. Frank Bruno, Investigador Senior, Centro de Energía Sostenible, 17 de junio de 2009), se observa:

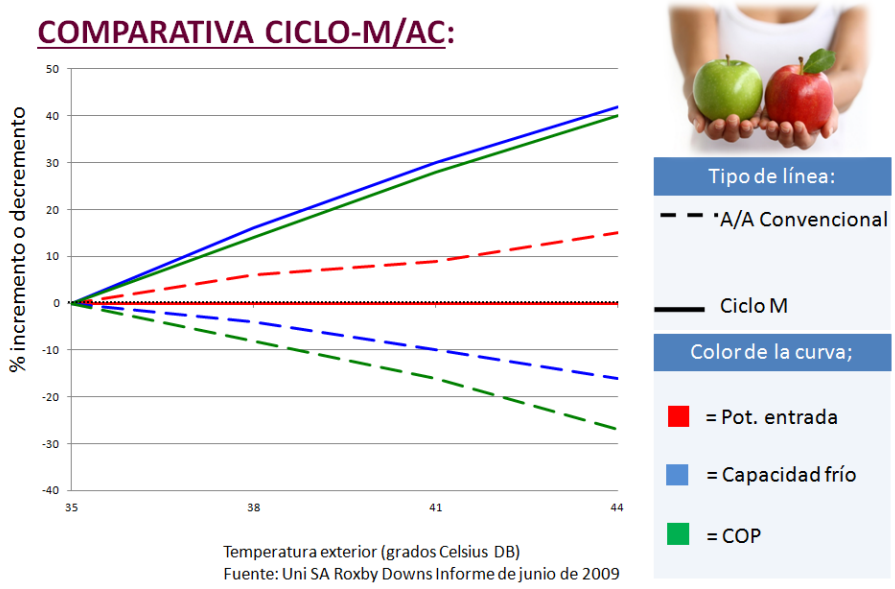

Figura 13.- Comparativa del EEI con la bomba de calor convencional.

- ✓ El rendimiento del enfriador evaporativo indirecto (EEI) puede desafiar al de los mejores sistemas de climatización convencional, usando hasta un **87% menos de energía**. Con ello no solo reducimos la factura de electricidad, sino que también fomentamos la protección del medio ambiente.
- ✓ Y **no importa cuán caluroso puedan ser las condiciones exteriores**, el EEI usa la misma cantidad de energía al tiempo que entrega increíblemente aire fresco en el interior. *Esto ocurre en directo contraste con los sistemas a refrigeración que requieren mayor cantidad de energía a medida, que aumenta la temperatura en el exterior.*
- ✓ La capacidad de ahorrar respecto al costo de la energía efectivamente aumenta cuando hace más calor. Al mismo tiempo, el rendimiento del EEI también aumenta a medida que aumenta la temperatura; nuevamente esto ocurre en directo contraste con los sistemas de climatización convencional.

De otro lado, atendiendo a los datos obtenidos, podemos resumir lo siguiente:

- Eficiencia de saturación de hasta 125% a carga parcial.
- Tª de impulsión = Tª exterior de bulbo húmedo **-** 3,5 ºC, aproximadamente, a carga total.
- Baja pérdida de carga comparada con otras tecnologías de evaporación (bajo consumo de energía en el ventilador).
- Bajo consumo de agua y posibilidad de usar agua reciclada, aguas grises e incluso agua del mar filtradas.
- Posibilidad de generar aire frío con energía solar fotovoltaica (1.000 W para un flujo superior a 3.000 m^3/h), pudiendo climatizar una superficie de hasta 150 m^2, dependiendo de las cargas internas, para las condiciones ambientales moderadas (caso más desfavorable para ésta tecnología, tal y como ha quedado de manifiesto).

- Menos consumo que otras alternativas.
- No existe acumulación de agua en bandejas de condensados.
- EER comprendido entre 7,5 y +20.

5 CONCLUSIONES

Atendiendo al ahorro energético es fácil determinar que el enfriamiento evaporativo directo e indirecto conllevaría un consumo energético sustancialmente inferior al de otras tecnologías convencionales. Del mismo modo, se podría concluir en la inminente reducción, en la misma proporción, de emisión de kg de CO_2 a la atmosfera.

De otro lado, dado la poca entidad de potencia necesaria y simultaneidad de la demanda térmica con el nivel de radiación solar, este sistema se considera ideal para su integración en un sistema de generación de energía renovable fotovoltaico, en su caso; máximo cuando se cumple que: ***cuanto más alta es la temperatura del aire externo, menor será la temperatura a la cual se puede llegar con estos equipos, aumentando su rendimiento.***

Esto ocurre en directo contraste con los sistemas convencionales que requieren mayor cantidad de energía a medida que aumenta la temperatura exterior, pudiendo llegar, incluso, al "*colapso térmico"*. La capacidad de ahorrar respecto al costo de la energía efectivamente aumenta cuando hace más calor. Al mismo tiempo, el rendimiento del ciclo Maisotsenko también aumenta a medida que aumenta la temperatura en directo contraste, de nuevo, con los sistemas convencionales.

Por último, y desde el punto de vista de la inversión económica, se obtiene que para zonas de alta severidad climática de verano, el sistema es IDEAL consiguiéndose una rentabilidad del sistema desde el primer momento de su periodo de explotación.

5.1 Su consideración como energía renovable

Con todo lo anteriormente expuesto en cuanto a los sistemas de climatización adiabática, se refiere, podemos **JUSTIFICAR** que el enfriamiento evaporativo en general y, muy especialmente el basado en el intercambiador del **ciclo de Maisotsenko**, desde los puntos de vistas:

- **Energético:** si compararán los consumos energéticos.
- **Económico:** se analizará el coste económico de la inversión inicial y costes de explotación.
- **Otros aspectos:** Se analizarán aspectos como el mantenimiento, idoneidad, **ecología**, bondades, etc.

debe ser considerada como tecnología de **ENERGÍA RENOVABLE PSICROMÉTRICA** a los efectos de su inclusión en los oportunos programas de ayudas para la **mejora de las condiciones térmicas y ambientales de los centros educativos andaluces,** previa deliberación, y aprobación, si procede, por parte de la autoridad competente.

6 BIBLIOGRAFÍA

[1] http://www.climatewizard.com/

[2] Guía técnica sobre ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización del IDAE.