

## **El uso de humidificadores como alternativa energética al aire acondicionado: caso de un edificio docente en Santiago de Compostela**

### **The use of humidifiers as an energetic alternative to air conditioning: case of a teaching building in Santiago de Compostela**

*Fernando Blanco Silva*<sup>\*1</sup>, *Alfonso López Díaz*<sup>2</sup>, *Carlos J. Renedo Estébanez*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Energía y Sostenibilidad. Universidad de Santiago de Compostela. Av. de las Ciencias 4. Campus Sur - 15.782. A Coruña – España.

<sup>2</sup> Grado en Ingeniería Mecánica de la Universidad Católica de Ávila. Calle Canteros SN – 5.005. Ávila, España.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria. Av. de los Castros, 46 – 39005. Santander, España.

(Recibido el 24 de noviembre de 2010. Aceptado el 3 de septiembre de 2012)

#### **Resumen**

El presente artículo es una propuesta para reducir la temperatura en un espacio denominado Claustro en el edificio Escuela Técnica Superior de Ingeniería, de la Universidad de Santiago (U.S.C.). Este espacio dispone de un lucernario abierto con alta radiación solar y que en verano llega a alcanzar los 37°C. El espacio tiene un volumen de unos 7.000 m<sup>3</sup> y una instalación convencional de aire acondicionado es demasiado cara. Nuestra propuesta para reducir la temperatura es aumentar la humedad en el ambiente y una renovación simultánea del aire, con un coste más reducido y menos energía consumida.

----- *Palabras clave:* Humedad, temperatura, consumo de energía, claustro y confort

#### **Abstract**

The next paper is a proposal to reduce the temperature in a space named Cloister in the building Escuela Técnica Superior de Ingeniería, of the University of Santiago (U.S.C.). This space has a transparent roof with high solar radiation, and the temperature has reached 37 °C in summer. The atrium has a volume of approximately 7.000 m<sup>3</sup> and a complete installation of air

---

\* Autor de correspondencia: telefax + 0034 + 981 + 598 225, correo electrónico: fernando.blanco.silva@usc.es (F. Blanco)

conditioning is too expensive. Our solution to diminish the temperature is to increase the dampness of the air and to renew it at the same time, with a minor cost and energy consumption.

----- *Key words:* Dampness, temperature, energy consumption, cloister and comfort

### Introducción

A lo largo de los últimos años hemos visto como han proliferado las instalaciones de aire acondicionado en todos los países, siendo los motivos más importantes el aumento del bienestar y confort en la población. Una instalación de aire acondicionado se caracteriza por la renovación controlada del aire interior de un edificio mediante la renovación de aire cumpliendo unos parámetros en cuanto a humedad, temperatura, calidad y número de renovaciones horarias, para lo que podemos disponer de distintas tipología para pequeño tamaño (sistemas partidos, equipos splits y multisplit), medio tamaño (con fan coils y enfriadora exterior) o de gran tamaño (con una Unidad de Tratamiento de Aire); en las instalaciones de pequeño y mediano tamaño citadas no hay un control de todas las variables mientras que en las unidades de tratamiento de aire sí se controlan todas. El principal problema de las instalaciones de aire acondicionado es el coste, mucho más elevado que las instalaciones de calefacción; además debemos citar la escasez de alternativas a bajo coste.

Las instalaciones de aire acondicionado están justificadas en ubicaciones con alta temperatura a lo largo del año (o como mínimo en la temporada de verano) o cuando por otros motivos sea necesario controlar las características termohigrométricas del aire (por ejemplo en ámbitos hospitalarios, laboratorios experimentales, etc), pero existe un problema en las dependencias que presentan puntualmente temperaturas muy elevadas. En estos casos es difícilmente justificable una instalación de completa aunque las temperaturas excesivas podrían llegar a impedir la actividad y se debe encontrar una solución de compromiso entre los costes por servicios no prestados por inactividad y el de una instalación completa. En climas templados como el de Galicia (España)

los edificios administrativos y docentes se encuentran en esta situación intermedia ya que tienen un horario de explotación que a lo sumo alcanza las 50 horas a la semana (no tienen actividad ordinaria sábados, domingos y festivos) y en los meses de verano el número de usuarios se reduce por las vacaciones; en el caso de Santiago de Compostela se trata de un clima templado, con temperaturas máximas diarias en verano alrededor de los 25°C y son pocos los días en los que se superan los 30°C.

La legislación laboral española limita la temperatura a la que se puede trabajar entre los 17°C y 27°C para oficinas y similares mientras que en trabajos con esfuerzo físico la temperatura estará acotada entre 14°C y 25°C; la humedad relativa se debe situar entre el 30% y el 70% [1]. Cuando las condiciones ambientales están fuera de estos márgenes el trabajador puede negarse a realizar su actividad y no puede considerarse incumplimiento laboral, así aparece la demanda de los usuarios para disponer de climatización si se superan estos márgenes, en estos casos se debe buscar una solución de compromiso entre el cumplimiento de la normativa y los costes que estas instalaciones suponen.

Es importante citar también que las instalaciones de aire acondicionado tienen un consumo eléctrico importante, y a final de año el número de kWh acumulados va a influir en el consumo de energía. Esto lo debemos considerar en los esfuerzos que están haciendo las administraciones a todos los niveles (europeo, estatal y autonómico) para disminuir el consumo de energía. En 1997 se firmó en Kyoto (Japón) un acuerdo entre los gobiernos de los países industrializados para disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (G.E.I.); en esta línea las administraciones han hecho diferentes esfuerzos por contener el consumo, centrándose los esfuerzos en la aprobación de

normativa y subvenciones [2, 3]. El Gas de Efecto Invernadero más importante es el CO<sub>2</sub> generado en la combustión de materias fósiles (gas natural, carbón, derivados petrolíferos...) para generar energía eléctrica

Las subvenciones que buscan la reducción del consumo de energía son gestionadas por las comunidades autónomas, con fondos estatales y europeos. En Galicia el organismo competente es el Instituto Enerxético de Galicia (I.N.E.Ga) y la última convocatoria para la concesión de subvenciones data de 2010 [4]. Esta convocatoria incluye varios sectores (industria, transporte, edificación, servicios públicos, transformación de energía y agricultura); en el sector de la edificación existen seis líneas:

- Rehabilitación de envolvente térmica de los edificios existentes
- Mejora de las instalaciones térmicas de los edificios existentes
- Construcción de nuevos edificios con alta calificación energética
- Auditorías energéticas en los edificios del sector residencial y servicios
- Bombas de calor geotérmicas
- Bombas de calor aire-aire y aire-agua de nueva construcción

La instalación propuesta en este artículo es una alternativa a una instalación convencional de aire acondicionado, por lo que es una actuación subvencionable ya que el consumo de energía es sensiblemente menor que en una instalación equivalente de aire acondicionado, encuadrándose en la segunda línea de actuaciones.

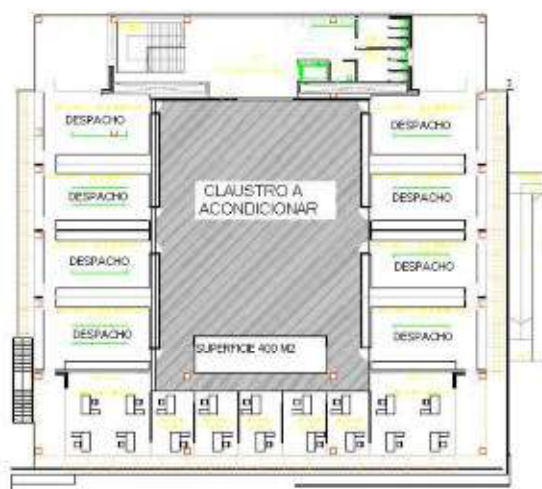
## Experimentación

### Descripción del caso

El edificio que analizamos es la Escuela Técnica Superior de la Universidad de Santiago de Compostela, situada en el Campus Sur de dicha ciudad. Este edificio tiene fines docentes y de investigación, siendo el número de usuarios en torno

a mil personas, pero que se reduce a unas ciento cincuenta durante la temporada no lectiva, que serían los meses de julio, agosto y la primera quincena de septiembre. En este edificio existe un amplio Claustro con un lucernario transparente, sobre el que existe una elevada radiación solar incidente; esto facilita que en invierno el funcionamiento energético sea muy eficiente (apenas es necesario encender la calefacción los días soleados) aunque este buen comportamiento en invierno se convierte en temperaturas muy elevadas en verano.

El Claustro es un patio interior con seis plantas (desde el Sótano -2 a la Planta Tercera), y con una altura total de 24,5 metros. La superficie asociada por planta es variable, siendo el volumen total de aire de unos 6.858 m<sup>3</sup>. Podemos ver en la figura 1 un croquis de la distribución en la Planta Primera. Es importante citar que existen despachos contiguos al Claustro, que alcanzan temperaturas muy elevadas; estos despachos están ocupados por trabajadores por lo que la temperatura máxima permitida es de 27°C; la mayoría de estos despachos disponen de pequeños equipos de refrigeración aunque apenas son efectivos al tener paredes comunicadas con el Claustro, a temperaturas muy superiores.



**Figura 1** Croquis del espacio a acondicionar en la Planta Primera

En las figuras 2, 3 y 4 se pueden observar distintas vistas del Claustro.



**Figura 2** Fotografía aérea del edificio



**Figura 4** Fotografía del Claustro



**Figura 3** Vista del Claustro

El cálculo de la potencia frigorífica necesaria lo vamos a estimar utilizando el volumen del Claustro. Sabemos que las superficies por planta son entre 80 m<sup>2</sup> (planta sótano) y 400 m<sup>2</sup> (planta tercera) coexistiendo suelo y hueco; en la tabla 1 reproducimos las superficies del Claustro (más pasillos adyacentes y distribuidores diáfanos).

**Tabla 1** Superficie y volumen de las dependencias estudiadas

| <i>Planta</i>  | <i>Dimensiones patio principal (m)</i> | <i>Superficie equivalente claustro (m<sup>2</sup>)</i> | <i>Superficie adyacente diáfana (m<sup>2</sup>)</i> | <i>Altura (m)</i> | <i>Volumen computable (m<sup>3</sup>)</i> |
|----------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|
| Sótano -2      | 7,5x11                                 | 82,5                                                   | 0                                                   | 4                 | 330                                       |
| Sótano -1      | 7,5x17                                 | 127,5                                                  | 60                                                  | 4                 | 750                                       |
| Planta baja    | 12x15                                  | 180                                                    | 80                                                  | 4,5               | 1.170                                     |
| Planta primera | 18x23                                  | 414                                                    | 0                                                   | 4                 | 1.656                                     |
| Planta segunda | 18x23                                  | 414                                                    | 0                                                   | 4                 | 1.656                                     |
| Planta tercera | 18x18                                  | 324                                                    | 0                                                   | 4                 | 1.296                                     |
| Total          |                                        | 1.542                                                  | 140                                                 | 24,5              | 6.858                                     |

En la literatura científica se pueden encontrar múltiples trabajos que estudian la influencia del

diseño del Claustro en el consumo energético realizado por la climatización del mismo.

Entre ellos se pueden destacar [5], en el que se compara el consumo energético de atrios y patios de diferentes alturas en diferentes condiciones climáticas; [6, 7], en los que los autores estudiaron aspectos como la influencia de la forma geométrica del claustro, el tipo de acristalamiento o la infiltraciones de aire en la carga térmica tanto estival como invernal; [8] en el que los autores compararon diversos métodos de cálculo de la carga térmica en atrios en función de la geometría del mismo; [9], en el que se estudió el efecto de los sistemas de refrigeración/calentamiento radiantes en claustros sobre el confort humano.

Los métodos de cálculo abreviados para la estimación de la potencia frigorífica están pensados para locales más sencillos que el del objeto del estudio, pero por simplificar el cálculo utilizaremos uno de ellos, considerando un parámetro de demanda térmica intermedio.

En España, para climas templados, se toma habitualmente como carga térmica total un valor promedio de 100 W/m<sup>2</sup> para una altura de unos 3 metros; este valor de 100 W/m<sup>2</sup> incluye la ganancia de calor correspondiente a radiación solar, temperatura exterior, maquinaria interior, alumbrado, ocupación de personas, renovación de aire... es un parámetro intermedio que da buenos resultados al estimar las necesidades frigoríficas de un edificio. Los 100 W/m<sup>2</sup> equivalen a unos 33 W/m<sup>3</sup>; con lo que tendríamos una potencia frigorífica necesaria de 226 kW, tal y como se puede ver en la ecuación 1.

$$\frac{33W}{m^3} \times 6.858m^3 = 226kW_{frigorificos} \quad (1)$$

Según [10], en España una instalación de climatización unizona cuesta en torno a 450 €/kW, por lo que en este caso, con 226 kW frigoríficos (kW<sub>f</sub>) puede suponer un coste en torno a unos 101.700 euros, esta cantidad es inasumible para acondicionar un espacio de tránsito, en el que no hay gente trabajando.

Una instalación de aire acondicionado busca mantener la estancia en las condiciones

higrométricas óptimas; estas condiciones son las marcadas por el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* [11], que en verano es una temperatura entre 23 y 25°C, y humedad entre el 45% y 60%; estas son las condiciones de confort recomendadas, aunque no son de obligado cumplimiento en un caso justificado, como el que nos ocupa por no existir una ocupación permanente. En nuestra solución admitimos que no se alcanzan estas condiciones idóneas sino que nos contentaremos con rebajar la temperatura máxima desde los 35°C a los que se llega actualmente hasta unos 27°C, suponiendo esta rebaja de temperatura una mejora importante en el confort de los usuarios; a cambio vamos a aumentar la humedad en el ambiente, que trataremos de retirar mediante una renovación forzada de aire. Debemos recordar que estas dependencias son sólo de paso y que con esta rebaja de temperatura reduciremos la carga térmica sobre los despachos vecinos.

### ***Razonamiento de la alternativa considerada***

La actuación propuesta es la instalación de un sistema de atomizadores de agua que evaporan el agua en fase líquida en el interior del claustro en gotas de muy pequeño tamaño. Al realizarse esta evaporación hay una conservación de la cantidad de calor por cada kilogramo de aire seco; aunque va a aumentar la humedad absoluta y relativa, mientras que disminuye la temperatura seca del aire. Son múltiples los trabajos científicos en los que se ha estudiado el potencial de la evaporación directa de agua para la refrigeración de locales, entre ellos cabe destacar [12, 13].

Para tener una más fácil comprensión del proceso de humectación se puede observar el Diagrama Psicrométrico de Carrier de la figura 5. El lector podrá observar que los puntos 1 y 2 presentan idéntica entalpía por cada kg de aire seco (unos 80,5 kJ/kg a.s.) aunque las condiciones de humedad y temperatura son distintas; en el punto 1 la temperatura ambiente son 35°C, la humedad relativa es del 50% mientras que la

humedad absoluta es de 17,7 g de vapor de agua por cada kg de aire seco; el punto 2 presenta una temperatura de 27°C, humedad relativa del 90% y una humedad absoluta de 21,1 g de vapor de agua por cada kg de aire seco. En este ejemplo

el proceso de humectación consiste en el paso del punto 1 al punto 2, se trata de dos puntos con idéntica entalpía pero aumentamos la humedad en el ambiente mientras que disminuimos la temperatura.

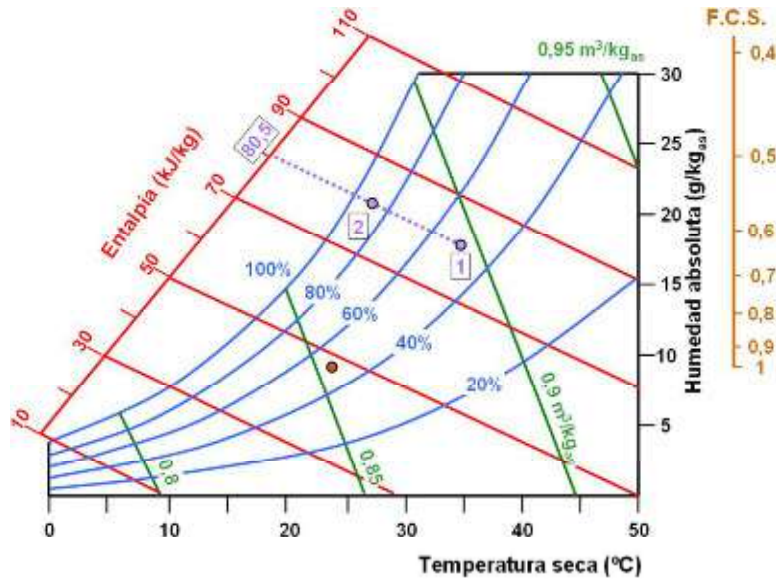


Figura 5 Diagrama Psicrométrico [14]

En el ejemplo que hemos propuesto el punto 2 alcanzaría una humedad relativa del 90%, esto no significa que se llegue a ese grado de saturación en todo el Claustro, sino simplemente en el punto donde se produce la evaporación (al lado del aspersor). En la práctica aumenta la humedad en todo el recinto, y este va a ser el principal problema de la instalación. El Claustro se utiliza sólo para el tránsito de personas (no hay gente trabajando) por lo que es admisible una humedad por encima de los parámetros recomendados, aunque para evitar que ésta sea excesiva vamos a realizar una renovación del aire, es decir una sustitución del aire interior (humedecido) por aire exterior (con una humedad relativa menor). Estudiando los últimos años vemos que el momento con la temperatura ambiente más elevada es el día 22 de julio de 2008, a las 16:20 h, en los que se alcanzan unas condiciones exteriores de 33,6°C y un 31% de humedad relativa. En el Claustro se suelen alcanzar temperaturas en torno a 5°C

superiores a la exterior, por lo que en los días más calurosos se podrían llegar a superar los 37°C.

## Resultados y discusión

### Requerimiento de potencia frigorífica

A continuación vamos a calcular las características de la instalación. Si analizamos la meteorología a lo largo de los años 2006 a 2010 vemos que han sido muy pocos los días en los que se superan los 32°C, por lo que consideramos este el más desfavorable para el diseño, en estas condiciones la temperatura interior en el edificio es de unos 37°C. En cuanto a la humedad hemos consultado los datos existentes y vemos que la situación más desfavorable para una temperatura exterior de 32°C será una humedad relativa del 40%.

En caso de disponer de una instalación completa de aire acondicionado convencional buscaríamos

que en las condiciones más desfavorables se pudiera alcanzar como temperatura interior 23°C, siendo el salto térmico desde los 37°C a los 23°C (rebajaríamos 14°C en las condiciones más desfavorables) aunque con la instalación de humidificador y renovación de aire propuesta nos conformamos con una temperatura interior de 27°C en las condiciones citadas, así la potencia frigorífica necesaria en la instalación propuesta será la calculada mediante una sencilla regla de tres (ecuación 2):

$$\frac{37^{\circ}C - 23^{\circ}C}{37^{\circ}C - 27^{\circ}C} = \frac{14^{\circ}C}{10^{\circ}C} \quad (2)$$

$$= \frac{226 kW_f}{P_{diseño}} \Rightarrow P_{diseño} = 161,6 kW_f$$

Sabemos que en condiciones normales necesitaríamos una potencia frigorífica de unos 226 kW<sub>f</sub> pero nos vamos a conformar con una potencia de diseño de unos 161,6 kW<sub>f</sub>. Rebajamos los objetivos de confort porque no buscamos un espacio totalmente acondicionado, sino simplemente rebajar la temperatura a ciertos valores admisibles. Hemos calculado una potencia frigorífica de unos 161,6 kW<sub>f</sub>; lo siguiente es calcular el caudal de agua de evaporación. Sabemos que el calor latente de ebullición del agua son 2.253 kJ/kg, por lo que el caudal de agua de evaporación lo podemos ver en la ecuación 3:

$$Q = \frac{161 kJ / s}{2.253 kJ / kg} = 0,072 kg / s \quad (3)$$

$$\Rightarrow 4,305 kg / min = 4,305 l / min$$

Con el fin de tener una evaporación más sencilla vamos a repartir el caudal de agua en cuatro aspersores, cada uno de ellos lo colocaremos en una de las esquinas del Claustro, siendo el caudal de cada uno de los aspersores de ellos de 0,018 kg/s, que son aproximadamente unos 1,08 litros por minuto.

Asumiendo que no vamos a garantizar las condiciones idóneas según el Reglamento de las Instalaciones Térmicas de los Edificios (R.I.T.E.)

[5] pero sí podemos exigir el cumplimiento de la normativa laboral [1] en condiciones ordinarias (se excluyen los días de calor excesivo que pueden ser uno o dos al año). Para el cálculo de la renovación de aire vamos a considerar como condiciones interiores de diseño una temperatura interior de 27°C y humedad relativa del 65%, lo que implica una humedad absoluta de 0,0145 kg de vapor de agua por cada kg de aire seco. En cuanto a las condiciones exteriores ya hemos considerado como situación más desfavorable que la temperatura exterior de 32°C y una humedad relativa del 40%, lo que supone una humedad absoluta de 0,0119 kg de vapor de agua por cada kg de aire seco, vemos la figura 6, que es muy intuitiva:

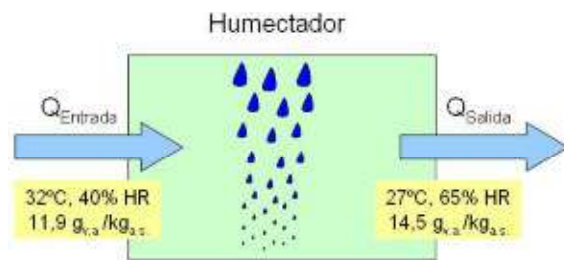


Figura 6 Esquema de circulación del aire

### Renovación de aire necesaria

Haciendo un sencillo balance de masa del agua tenemos que el vapor de agua que entra, más el agua aportada por el humidificador son equivalentes al caudal del agua de salida y obtenemos un caudal de aire seco de 27,6 kg/s (ecuación 4):

$$\dot{m} 11,9 g_{v.a.} / kg_{a.s.} + 0,072 kg_{v.a.} / s \quad (4)$$

$$= \dot{m} 14,5 g_{v.a.} / kg_{a.s.} \Rightarrow \dot{m} = 27,6 kg_{a.s.} / s$$

Y como en el Diagrama Psicrométrico vemos que en las condiciones de entrada y salida el volumen específico del aire es de 0,88 m<sup>3</sup>/kg, de forma que el caudal de aire necesario es de unos 27,6 kg<sub>a.s.</sub> / s x 0,88 m<sup>3</sup> / kg<sub>a.s.</sub> ≈ 24,29 m<sup>3</sup> / s ≈ 87.425 m<sup>3</sup> / h y el número de renovaciones horarias resultante es de:

$$n = 87.425 \text{ m}^3 / \text{h} \times \frac{1 \text{ renovación}}{6.860 \text{ m}^3} \quad (5)$$

$$= 13,6 \text{ renovaciones/h}$$

El *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* [11] recoge en su Instrucción *I.T.E. 02.2.2- Calidad del aire interior y ventilación*, que la renovación de aire como norma general será de una por hora, y que a mayores será la que se exija según el uso de los locales. En el caso de edificios docentes el número de renovaciones necesarias es de 8 renovaciones/hora; el valor que hemos calculado es superior a 8, por lo que se cumple la Instrucción antes citada [1]. Al hacer 13,6 renovaciones horarias en vez de 8 rebaja la carga térmica, debido a que el aire exterior tiene una entalpía asociada más baja (32°C, H.R.=40%, 59 kJ/kg a.s.) que las interiores (27°C, H.R.=65%, 65 kJ/kg a.s.). Debido a que se rebaja la carga térmica el resultado logrado en todo caso sería mejor que el que hemos propuestos en el artículo (Tinterior=27°C), por lo que se mejoraría incluso la solución propuesta. A continuación hacemos un balance de energía del aire [15] en el Claustro para comprobar que las cifras se ajustan al Diagrama de Carrier y que se obtiene una potencia frigorífica de 226 kWf. La entalpía del aire a la entrada es de unos 59 kJ/kg mientras que a la salida son 65 kJ/kg. El balance de energía es:

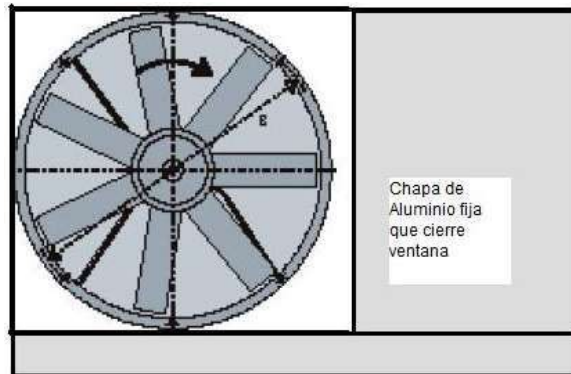
$$\dot{m}_{\text{entrada}} \cdot H_{\text{entrada}} + P_{\text{vaporización}} = \dot{m}_{\text{salida}} \cdot H_{\text{salida}}$$

$$\frac{24,29 \text{ kg}_{\text{a.s.}}}{\text{s}} \times \frac{59 \text{ kJ}}{\text{kg}_{\text{a.s.}}} + 226 \text{ KW}$$

$$\approx \frac{25 \text{ kg}_{\text{a.s.}}}{\text{s}} \times \frac{65 \text{ kJ}}{\text{kg}_{\text{a.s.}}} \quad (6)$$

Para realizar la renovación de aire se va a hacer una extracción por la parte superior, que dispone de dos ventanas; recordando que la renovación necesaria son 87.425 m<sup>3</sup>/h vamos a necesitar una renovación de unos 43.200 m<sup>3</sup>/h por cada ventilador. Al elegir entre las múltiples posibilidades que existen vamos a optar por

disponer de un ventilador para cada ventana. Optamos por el extractor modelo THT – 90 – 4T de la marca Carrier, este extractor tiene una potencia de 5,5 kW<sub>p</sub>, consumo eléctrico de 8,4 A en corriente trifásica y protección IP 65, con un total de 1.435 revoluciones por minuto. Cada uno de estos ventiladores supera los 40.000 m<sup>3</sup>/hora de conducto de extracción con lo que hemos elegido dos unidades. Además vamos a completar el resto del hueco de la ventana con piezas fijas de aluminio, según se puede ver en la figura 7



**Figura 7** Croquis del extractor THT-90-4T de Carrier

La entrada de aire la haremos desde el resto del edificio, en concreto a través de las plantas Baja y Sótano –1, que son abiertas y permitirían la entrada de aire desde otras dependencias del Edificio E.T.S.E.; no existen problemas de velocidad excesiva del aire porque se trata de zonas diáfanas con amplias secciones para la circulación de aire [16].

El sistema global (la extracción de aire y los aspersores) va a ir regulado por una pequeña centralita, que va a encender los equipos en el momento que la temperatura ambiente del aire dentro del Claustro supere los 25°C. El consumo eléctrico de cada extractor es de unos 5.5 kW<sub>e</sub>, o sea un total de 11 kW<sub>e</sub>; a lo que se le suman unos 2 kW<sub>e</sub> por el resto de los elementos existentes (sistema de control, bombas para la impulsión de agua, etc), alcanzando un consumo total de unos 13 kW<sub>e</sub>.



Debemos recordar que la instalación se presenta como una instalación alternativa a una instalación de aire acondicionado, de potencia total unos 226 kW<sub>p</sub>; lo que aproximadamente suponen unos 90 kW<sub>e</sub>, por lo que se puede ver que hay una rebaja sustancial de la potencia eléctrica necesaria.

### **Estimación del consumo de energía anual evitado**

En cuanto a la energía eléctrica consumida, la instalación que hemos planteado no llega a alcanzar la efectividad que la instalación de refrigeración, por lo que tendrá que funcionar más tiempo para alcanzar el mismo resultado. Podemos suponer que una hora de refrigeración es equivalente a una hora y media de humidificación, por lo que si la primera funciona un equivalente de 300 horas anuales, la propuesta funcionará 450 horas, y por lo tanto el consumo anual (en kWh eléctricos) será:

- Aire acondicionado:  $90 \text{ kW}_e \times 300 \text{ h} = 27.000 \text{ kW}_e\text{h}$

- Humidificador:  $13 \text{ kW}_e \times 450 \text{ h} = 5.850 \text{ kW}_e\text{h}$

Como se puede ver hay un ahorro importantísimo de energía y por lo tanto de emisiones de G.E.I.; actualmente se emiten unos 0,32 kg por cada kW<sub>e</sub>h que se consume; en nuestro caso estamos ahorrando unos 22.000 kW<sub>e</sub>h, lo que supone que dejamos de emitir unos 7.000 kg de CO<sub>2</sub> al año.

### **Valoración del coste de la instalación**

Debido a que se trata de una instalación experimental no es factible dar un presupuesto exacto para conseguir este resultado, porque no es descartable que una vez realizada la instalación se tenga que ampliar; en particular porque hemos supuesto que el aire se introduce por renovación natural a través del propio edificio, aunque quizás sea necesaria una impulsión forzada. En la tabla 2 se indican los precios de la instalación, el coste total es de alrededor de 20.000 euros (unos 25.000 \$) a los que se le deben añadir los correspondientes impuestos (en España es el Impuesto del Valor Añadido, de un 18% sobre el precio final).

**Tabla 2** Coste estimado de la instalación propuesta

| <b>Elemento</b>       | <b>Unidades</b> | <b>Precio unitario (€)</b> | <b>Precio total (€)</b> |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| Aspersores instalados | 4               | 1000                       | 4.000                   |
| Sistema extracción    | 2               | 3.000                      | 6.000                   |
| Carpintería aluminio  | 2               | 750                        | 1.500                   |
| Sistema de control    | 1               | 4.000                      | 4.000                   |
| Otros                 |                 | 4.500                      | 4.500                   |
| <b>Total</b>          |                 |                            | <b>20.000</b>           |

En cuanto a las posibilidades de conseguir la subvención del INEGA debemos decir que se están cumpliendo las condiciones exigidas por la convocatoria, por lo que se espera obtenerla. Estas condiciones son generales (ubicación situada en Galicia, no tener deudas con la administración...) y además se exige:

- Conseguir una reducción anual mínima del 20% del consumo de energía convencional

- Cumplimiento del Reglamento de las Instalaciones Térmicas de los Edificios (R.I.T.E.)

En el caso de cumplirse los requisitos para recibir la subvención se puede optar con carácter general a recibir una subvención del 22% del importe desembolsado, que está en torno a los 4.400 euros (unos 5.400 \$).

## Conclusiones

En el presente artículo se ha descrito una instalación recomendable para locales que registran de forma ocasional temperatura muy elevada y en las que existe un salto térmico importante con el exterior motivado por una radiación solar muy elevada, o por gran generación de calor (emitida por máquinas o personas) en el interior del edificio. Mediante la combinación de humidificación y renovación de aire se puede rebajar la temperatura a un precio muy razonable (comparada con una instalación de climatización, la solución propuesta cuesta aproximadamente un 20% de la convencional y el consumo de energía es del 22%), aunque no se consigue el bienestar que proporciona una instalación de aire acondicionado convencional. Esta solución mejora una simple renovación de aire, ya que la evaporación del agua reduce la temperatura del aire.

## Referencias

1. *Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.* Boletín oficial del estado. Madrid, España. 1997. pp. 12918 - 12926.
2. Documento Básico de Ahorro de Energía. *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.* Boletín Oficial del Estado. Madrid, España. 2006. pp. 11816-11831.
3. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio del Gobierno de España. *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (PAE4+).* Madrid. Disponible en [http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/doc/necap/es\\_necap\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/doc/necap/es_necap_es.pdf) Consulta marzo de 2010.
4. Diario oficial de Galicia. *Resolución del Instituto Energético de Galicia de 21 de julio de 2010 por la que se establecen las bases reguladoras para la concesión, en régimen de concurrencia competitiva, de subvenciones a proyectos de ahorro y eficiencia energética correspondiente al ejercicio 2010, co financiadas por el Feder en el marco del programa Feder-Galicia 2007-2013.* Diario Oficial de Galicia de noviembr de 2010. Santiago de Compostela. España. 2010. pp. 13714-13725.
5. A. Aldawoud, R. Clark. "Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings". *Energy and Buildings*. Vol. 40. 2008. pp. 209-214.
6. A. Laouadi, M. Atif, A. Galasiu. "Towards developing skylight design tools for thermal and energy performance of atriums in cold climates". *Building and Environment*. Vol. 37. 2002. pp. 1289-1316.
7. A. Laouadi, M. Atif, A. Galasiu. "Methodology towards developing skylight design tools for thermal and energy performance of atriums in cold climates". *Building and Environment*. Vol. 38. 2003. pp. 117-127.
8. Y. Pan, Y. Li, Z. Huang, G. Wu. "Study on simulation methods of atrium building cooling load in hot and humid regions". *Energy and Buildings*. Vol. 42. 2010. pp. 1654-1660.
9. T. Kim, S. Kato, S. Murakami. "Indoor cooling/heating load analysis based on coupled simulation of convection, radiation and HVAC control". *Building and Environment*. Vol. 36. 2001. pp. 901-908
10. J. Cejudo. *DTIE 9.05. "Sistemas de Climatización"*. Ed. ATECYR. Madrid. España. 2009. pp. 25-42.
11. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el: *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. Madrid, España. 2011. pp. 35931-35984. Boletín Especial del Estado, 29 de agosto de 2007.
12. J. Wu, X. Huang, H. Zhang. "Theoretical analysis on heat and mass transfer in a direct evaporative cooler". *Applied Thermal Engineering*. Vol. 29. 2009. pp. 980-984.
13. K. Kant, A. Kumar, S. Mullick. "Space conditioning using evaporative cooling for summers in Delhi". *Building and Environment*. Vol. 36. 2001. pp. 15-25.
14. Carrier Compañía de Aire acondicionado. Manual de aire acondicionado. Barcelona: Marcombo. 2008. pp. 1-110.
15. J. Holman. Transferencia de calor. México: Compañía Editorial continental. 1986. pp. 127-143.
16. P. Yiqun, L. Yuming, H. Zhizhong, W. Gang. "Study on simulation methods of atrium building cooling load in hot and humid regions". *Energy and Buildings*. Vol. 42. 2010. pp 1654-1660.