

Cumplimiento de los requisitos en materia de ahorro de energía y legislación laboral en la rehabilitación de edificios industriales

Compliance with energy savings and labour legislation requirements in wide-open industrial buildings refurbishment



Paul G. O'Donoghue¹, Miguel A. Galvez-Huerta²,
Tomas Gil-Lopez³ y Juan Castejon-Navas³

¹ Dublin Institute of Technology, Faculty of Building Services Engineering (Ireland)

² Universidad Federico Santa María (Chile)

³ Universidad Politécnica de Madrid (Spain)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8297>

Las Directivas de la UE aconsejan actualizar el rendimiento energético de los edificios existentes con una superficie útil de más de 1.000 m², cuando éstos sean reformados [1, 2].

De los edificios existentes, el sector industrial tiene un potencial significativo en lo que a ahorro de energía se refiere. Especialmente crítico es el caso de los edificios parcialmente abiertos cuyas entradas, debido al uso, permanecen abiertas durante largos períodos de tiempo: almacenes abiertos durante la carga y descarga o talleres de reparación de automóviles y camiones con tráfico continuo de vehículos [3, 4].

Las malas condiciones ambientales interiores conseguidas, muy próximas a las condiciones exteriores debido a la alta permeabilidad del edificio, representan un coste económico significativo. La actividad de los trabajadores, lo que repercute en la duración de la jornada, exige que las condiciones higrotérmicas interiores sea aceptables [5 - 7].

La legislación española establece los requisitos ambientales que son obligatorios en los lugares de trabajo por razones de salud y seguridad: la temperatura debe mantenerse entre 17 °C y 27 °C, si se realiza trabajo sedentario y dentro de un rango de 14 °C hasta 25 °C en el caso del trabajo ligero [8]. Las velocidades del aire deben mantenerse por debajo de 0,25 m/s cuando se trabaja en ambientes fríos, por debajo de 0,5 m/s en ambientes cálidos

para trabajos sedentarios, e inferiores a 0,75 m/s si el trabajo realizado es ligero en un ambiente cálido. En todos los casos, la humedad relativa debe mantenerse entre el 30% y el 70% [10]. Incluso, si se consideran los valores extremos del rango (temperaturas en el rango de 14°C y 27 °C con velocidades de aire inferiores a 0,75 m/s) la posibilidad de alcanzar estas condiciones higrotérmicas en interiores, sin un equipo mecánico, en un edificio abierto expuesto a un clima severo, como sucede en la mayoría de los países europeos, es muy baja.

Sin embargo, en este tipo de edificios no son factibles los sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (de ahora en adelante, HVAC) que controlan la temperatura y la humedad dentro del local, ya que la alta tasa de infiltración conduciría a cargas extremas de refrigeración y calentamiento [11-13].

Por lo tanto, este trabajo pretende proponer una metodología para hacer frente a la climatización de edificios industriales de parcialmente abiertos. Los beneficios esperados de la intervención propuesta serán:

- Aumento de las horas de trabajo, teniendo en cuenta la legislación laboral vigente;
- Una mejora del confort higrotérmico interior;
- Una reducción del consumo de energía en comparación con un sistema convencional.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. CASOS DE ESTUDIO

Esta sección compara el rendimiento energético de varias opciones para la climatización de un taller parcialmente abierto.

A partir de una situación inicial (caso 0) de un edificio no acondicionado, se estudia su consumo de energía, cuando se utiliza un sistema de aire acondicionado convencional (caso 1). Además, se compara el rendimiento de este sistema convencional y uno altamente eficiente, cuando se completan con un sistema de separación climática mediante un sistema de cortinas de aire (casos 2 y 3, respectivamente).

Para analizar el rendimiento de los sistemas técnicos para cada una de las situaciones propuestas, se ha seleccionado un edificio industrial representativo. Tal es el caso de un taller amplio, en el que se realizan inspecciones técnicas de vehículos (ITV), que son necesarias para toda la flota de acuerdo con la legislación europea vigente [14], en automóviles y camiones. Este edificio tiene una forma rectangular, con una superficie de 1.150 m² y una altura media de 7.5 m. No tiene ventanas, sino seis puertas para automóviles (3,7 m de ancho y 3,5 m de alto) y dos puertas para camiones (4,5 m de ancho y alto). Estos edificios, que superan en número a 1.000 en toda España, suelen estar situados próximos a las autopistas principales. Para este estudio, se eligió un taller ITV ubicado en Carmona (Sevilla, España).

A continuación, se describen las características técnicas de los sistemas diseñados:

a) Caso 0: Edificio original

Los talleres de ITV, por las razones expuestas en la introducción, no tienen ningún sistema de acondicionamiento higrotérmico. La simulación energética en estas condiciones, sólo busca analizar la evolución de las temperaturas interiores a lo largo del año, con el fin de identificar los momentos en que supera los límites permitidos por la legislación laboral.

b) Caso 1: Sistema HVAC convencional

Al adoptar un sistema de aire acondicionado, la cantidad de horas de trabajo puede aumentar significativamente, pero a expensas de un consumo de energía inaceptable. Se ha estudiado el rendimiento de un sistema HVAC convencional con las siguientes características:

- Un grupo de bobinas de agua se encarga de acondicionar (calefacción o

refrigeración) el aire recirculado de manera que se eliminan las cargas térmicas (debido tanto a las ganancias o pérdidas de construcción como al caudal de aire de 160.000 m³/h a través de las puertas abiertas). De acuerdo con los límites obligatorios, mencionados anteriormente, para la temperatura interior, se fija en 16°C durante el período invernal, mientras que se mantiene a 28°C en verano, y se obtiene con el suministro de aire de las unidades a 30°C y 14°C, respectivamente.

- Una caldera de gas convencional con una potencia de salida de 650 kW (eficiencia estacional estimada: 86%), satisface las cargas de calefacción exigidas por las baterías de calefacción.
- Un enfriador de agua condensada de aire con una potencia de salida de 1.000 kW y un EER estacional estimado de 2.9 satisface las cargas térmicas demandadas por las diferentes baterías de enfriamiento.

c) Caso 2: Sistema HVAC convencional con cortinas de aire como separadores climáticos

Los ahorros reales de energía sólo se consiguen con una separación climática efectiva de las condiciones exteriores. Por lo tanto, la colocación de cortinas de aire en las aberturas fijas es una estrategia esencial antes del acondicionamiento de los locales, con el fin de obtener un confort térmico a un costo razonable [15].

En este caso, se han seleccionado los siguientes dispositivos de separación climática:

- Dos cortinas de aire Indac S150 (Biddle) colocadas en serie para cada una de las seis puertas existentes para vehículos pequeños.
- Dos cortinas de aire Indac S200 (Biddle) colocadas en serie para las dos puertas para vehículos grandes.

Se han seleccionado las características de las cortinas de aire utilizando un programa de simulación [16]. A pesar de que es ampliamente utilizado por las empresas del sector de cortinas de aire, no es estrictamente hablando, un software comercial, sino una herramienta de simulación de CFD a medida para la tecnología de separación climática, como muestran las pruebas de laboratorio TNO [17].

El caudal de aire suministrado es fijo (3,640 m³/h para puertas de automóvil y 4,850 m³/h para puertas de camión), y el equipo adapta su velocidad de descarga variando la geometría de la salida [18]. En

esta sección, se simula el rendimiento del sistema HVAC convencional descrito en la sección anterior, cuyas características se han modificado para adaptarse a las nuevas condiciones de carga derivadas de la estrategia de separación climática. Está compuesta por:

- Unidad de tratamiento de aire primario (UTA) que suministra una velocidad de ventilación obligatoria de 7 cambios de aire por hora [19], lo que significa un caudal de aire de 60.000 m³/h, considerando que se renueva el volumen total de aire de los locales. Con el fin de mejorar las condiciones higrotérmicas, en comparación con las obtenidas en el caso 1, la temperatura interior de invierno se fija en 19 °C, mientras que durante el verano la temperatura se mantiene a 25 °C. Éstas se obtienen con impulsión de aire de la unidad a 27°C y 13°C, respectivamente.
- Una caldera de gas convencional con una potencia de 450 kW (eficiencia estacional estimada: 86%), que satisface las cargas de calefacción exigidas por la batería de calefacción de la UTA, mediante agua caliente a 80 / 60°C.
- Un enfriador de agua condensada de aire con una potencia de 650 kW y una eficacia estacional estimada de 2,9, que satisface las cargas térmicas demandadas por la batería de refrigeración de la UTA, que funciona con agua fría a 7 / 12°C.

d) Caso 3: Sistema HVAC de alta eficiencia con cortinas de aire como separadores climáticos

En busca de un ahorro energético, se ha estudiado el caso en que el aire acondicionado es proporcionado por un sistema altamente eficiente que incluye, junto con el sistema de cortinas de aire descrito en la sección anterior, las siguientes mejoras:

- Un sistema de difusión de aire de desplazamiento, con 13 difusores VA-ZDA DN 355, de Kranz Componenten, suspendido a 3 m de altura. La distancia de impulsión es de 9 m, cuando se suministra flujo nominal, con un nivel de potencia acústica de 63 dBA. Con este sistema, el aire se suministra a 22°C en verano, para mantener las condiciones interiores cercanas a los 28°C. Esta temperatura, combinada con velocidades de aire residual más altas de lo habitual pero aceptables debido a la actividad física de los trabajadores, permite mantener las condiciones de

confort en la zona ocupada. Durante el invierno, el aire se suministra a 24°C. En este caso, la estratificación también favorece un aumento en la eficiencia de recuperación de calor durante este período.

- Una unidad de tratamiento de aire primario EQUAM (100% de aire exterior) con las siguientes características: Velocidad de flujo de aire de los ventiladores de impulsión y retorno: 30.000 m³/h (7 ACH para una altura de 3 m, que corresponde a la zona ocupada). Una batería de calentamiento, que funciona con agua caliente (50 / 35°C), suministra aire a 24°C, manteniendo las condiciones de humedad exterior fijadas; Una batería de enfriamiento, que funciona con agua fría (7 / 12°C) suministra aire a 21,5°C y 78% de humedad relativa; Una unidad de recuperación de calor de flujo transversal (70% de eficiencia media), con una capacidad de recuperación de calor de 115 kW para el flujo nominal en condiciones invernales (5°C y 90% de humedad relativa), proporciona un suministro de aire a 16.2°C desde las condiciones de extracción (19°C y 26% de HR); en condiciones de verano la capacidad de recuperación de calor es de 151 kW, ya que incluye un enfriamiento adiabático por chorros de aire extraído a 28°C y 78% de humedad relativa. Mediante este enfriamiento adiabático indirecto, el aire exterior a 45°C y 24% de HR, se lleva a 30,2°C con una humedad relativa del 59% antes de entrar en la batería de agua.
- Dos cortinas de aire Indac S150 (Biddle) colocadas en serie para cada una de las seis puertas existentes para vehículos pequeños, y dos cortinas de aire Indac S200 (Biddle) colocadas en serie para las dos puertas para vehículos grandes. Éstas recirculan el aire a temperatura ambiente durante todo el año, y pueden funcionar con baterías de agua caliente o refrigerada, cuando sea necesario.
- Una caldera de gas de condensación modular Tayra / Unical Eco-pacQ-Mx-550-CS2-EM con una potencia de 195 kW (eficiencia de conversión de calor: 108%) satisface las cargas térmicas demandadas por las cortinas de aire (115 kW en total) y la batería de la unidad de tratamiento de aire (82,5 kW)
- Enfriador de agua condensada con aire VRF EQUAM COOLING, con una

potencia de 225 kW y una EER de 3,5. Éste cumple con las cargas exigidas por las cortinas, que se monta hasta 135 kW, y la batería de la unidad de tratamiento de aire (88,2 kW)

- Una instalación solar térmica se ha diseñado para proporcionar el 70% de los requerimientos de energía para calefacción. Se ha elegido una superficie de 24 m² de colectores ASTERSA AT020 (eficiencia óptica: 0,748 y factores de pérdida de calor: 3,718 y 0,014 W/m²K) orientada al sur e inclinada a 35°, que transfieren la energía térmica recogida a un tanque de almacenamiento de 3.000 litros.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las condiciones en las que se ha realizado la simulación.

Este parámetro adimensional se define como la relación entre la carga sensible a través de la puerta y la carga en una situación de referencia (es decir, puerta abierta sin cortina). Cuanto menor sea el valor de la eficiencia, mayor será la infiltración o fuga de aire.

Diferentes autores han proporcionado las ecuaciones para el estudio de los flujos de convección a través de las puertas abiertas, y para el chorro plano turbulento producido por las cortinas de aire. Debido a la dificultad del tratamiento matemático y las disparidades con las medidas experimentales, su interacción rara vez se realiza mediante ecuaciones analíticas. Para predecir la eficacia de las cortinas de aire, las herramientas de modelado en 3D como los programas CFD, validadas mediante pruebas experimentales que miden

donde m es el flujo de masa de aire (kg/s); C_d el coeficiente de descarga (-); W el ancho de la abertura (m); g la aceleración gravitatoria (9,81 m/s²); H la altura de la puerta (m); y ρ la densidad del aire (kg/m³). Los subíndices w y c son los lados cálido y frío, respectivamente. En el trabajo, se ha adoptado un coeficiente de descarga $C_d = 0,611$. Está de acuerdo con los valores comunes adoptados cuando el aire en las zonas se considera en reposo y la alta diferencia de temperatura entre zonas hace que los efectos de fricción y mezcla sean insignificantes.

La tasa de flujo de calor, cuando las temperaturas se mantienen constantes dentro de las zonas, se obtiene con la Eq. 3:

$$\Phi = \dot{m} C_p (T_w - T_c) \quad (3)$$

donde Φ es la tasa de flujo de calor (W); m es el flujo de masa de aire (kg/s); C_p es la capacidad calorífica del aire (J/kg·°C); y T_c y T_w son las temperaturas de la zona (°C).

2.3. SIMULACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LOS SISTEMAS

Utilizando una simulación del edificio con el programa e-Quest, se ha obtenido una predicción de su rendimiento para las opciones mencionadas.

E-Quest utiliza el motor de cálculo DOE2 para realizar una simulación por hora del edificio durante todo un año [23]. Por lo tanto, se ha simulado el rendimiento de bombas, ventiladores, calderas, enfriadores y todos los equipos que consumen energía dentro del edificio, sobre la base de los resultados de las pruebas experimentales. Finalmente, se mide el uso de energía de cada uso, incluida la iluminación. Autores como Crawley et al. proporcionan un buen estudio comparativo del potencial ofrecido por las herramientas de simulación más comunes, incluido el DOE2 [24].

En las simulaciones, se han utilizado datos meteorológicos sintéticos. El programa CLIMED 1.3 [25] ha generado 8.762 registros, incluidos los datos por hora, a partir de los datos normales de AEMET [26] para la estación meteorológica de Sevilla.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de la ITV descrita se simuló para las condiciones originales (caso 0), y para la renovación con dos sistemas de climatización diferentes: una instalación convencional (casos 1 y 2) y uno altamente eficiente (caso 3).

	CASE 0	CASE 1	CASE 2	CASE 3
	BASELINE CASE	CONVENTIONAL HVAC SYSTEM	CASE 2 WITH AIR CURTAINS CLIMATE SEPARATION	HIGHLY EFFICIENT HVAC SYSTEM WITH AIR CURTAINS CLIMATE SEPARATION
Boiler	-	conventional	conventional	condensation
Boiler efficiency (%)	-	86	86	108
Fuel	-	natural gas	natural gas	natural gas
Chiller EER	-	2,9	2,9	3,7
Ventilation rate	UNCONTROLLED	7 ACH	7 ACH	3 ACH
AHU	-	conventional	conventional	high efficiency
Evaporative cooling	-	NO	NO	YES
Heat recovery	-	NO	NO	YES
Cool air supply temperature	-	14	14	21
Warm air supply temperature	-	30	30	24
Indoor air temperature setpoint (heating)	FLOATING	16	19	19
Indoor air temperature setpoint (cooling)	FLOATING	28	26	28
Air diffusion system	-	mixing with variable geometry circular diffusers	mixing with variable geometry circular diffusers	displacement
Solar energy	NO	NO	NO	YES
Air curtains	NO	NO	YES	YES
Air curtains water coil	NO	NO	NO	YES
Schedule	07:00 - 22:00	07:00 - 22:00	07:00 - 22:00	07:00 - 22:00

Tabla 1: Resumen de los sistemas técnicos utilizados en las simulaciones

2.2. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE LA SOLUCIÓN DE LA SEPARACIÓN CLIMÁTICA

2.2.1. Eficacia de sellado de una cortina de aire

Como se indica en la bibliografía general, la eficiencia de la cortina de aire se define como el porcentaje de intercambio térmico a través de una abertura neutralizada por una cortina, en comparación con el caso de la ausencia de cualquier separación climática [20, 21]. Por lo tanto, la contribución de la cortina de aire a la reducción de la infiltración se caracteriza por su eficiencia de sellado, η (Eq. 1).

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_{out, with air curtain}}{Q_{out, without air curtain}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

las concentraciones de gases rastreadores (por lo general, CO₂) a los lados de la abertura, están hoy en día generalizadas [22].

2.2.2. Pérdidas de energía

La eficiencia de la cortina de aire se ha calculado mediante análisis termográficos realizados en otra instalación, como una sala de almacenamiento en frío. Se han medido las temperaturas en diferentes puntos de ambos lados (cálido y frío) de la puerta. Se ha establecido una malla con medidas en la parte inferior, en el centro y en la parte superior de la abertura, alineadas en filas verticales.

Con la temperatura promedio y las densidades promedio correspondientes, el flujo de masa de aire se ha calculado con el siguiente modelo analítico (Eq. 2):

$$\dot{m} = C_d \frac{W}{3} \left(gH^3 \rho_w \left[\Delta\rho + \frac{\Delta\rho^2}{2\rho_c} \right] \right)^{0,5} \quad (2)$$

a) Caso 0: Edificio original

La simulación del edificio en su estado original revela que durante el 56% del tiempo de trabajo anual en horas, la temperatura interior permanece fuera de los límites marcados por la legislación laboral.

b) Caso 1: Sistema HVAC convencional

La simulación de este caso permite obtener la evolución mensual de los consumos eléctricos y de combustible que se muestran en la Fig. 1.

c) Caso 2: Sistema HVAC convencional con cortinas de aire como separadores climáticos

La simulación de este caso permite obtener la evolución mensual de los consumos eléctricos y de combustible que se muestran en la Fig. 2.

c) Caso 3: Sistema HVAC de alta eficiencia con cortinas de aire como separadores climáticos

La simulación de este caso permite obtener una evolución mensual de los consumos eléctricos y de combustible que se muestran en la Fig. 3.

Una comparación de los cuatro casos se resume en la Fig. 4. En el caso 0, un 56,28% de las horas de trabajo anuales no cumple con los códigos laborales actuales (entre líneas rojas), mientras que este porcentaje se reduce a menos del 2% en el resto de los casos. Además, el número de horas dentro de los rangos extremos (temperaturas por debajo de 15,6 °C o superior a 29,4 °C) sube hasta 1.045 cuando no se usa aire acondicionado (caso 0), mientras que en los casos 1, 2 y 3, estas condiciones interiores prácticamente desaparecen.

Con respecto al consumo de electricidad, el caso 2 significa una reducción del 47,08% en relación con el caso 1, mientras que el caso 3 supone un recorte del 79,99%, nuevamente en comparación con el caso 1 (Fig. 5). Al comparar los consumos de gas, los ahorros obtenidos en el caso 2 corresponden a un 35,30% con respecto al caso 1 y llegan hasta el 77,18% cuando se comparan con el caso 1.

Esto significa que la solución del caso 3 reduce el consumo en más de la mitad en comparación con el adoptado para el caso 2 y más de un cuarto en comparación con el caso 1, adoptado como la opción base. Obviamente, el caso 0 no se ha tenido en cuenta ya que no cumple con las regulaciones actuales, como se mostró anteriormente.

El consumo total de energía en cada caso es: 1.160,89 MWh/año para el caso 0, 1.632,05 MWh/año para el caso 2 y 236,51

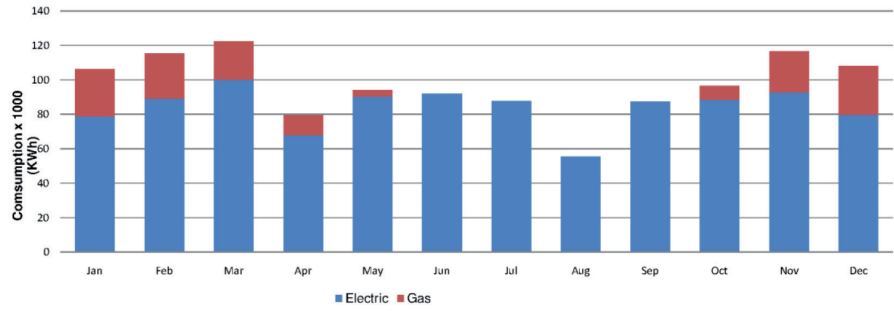


Fig. 1. Caso 1: Consumo mensual de gas y electricidad

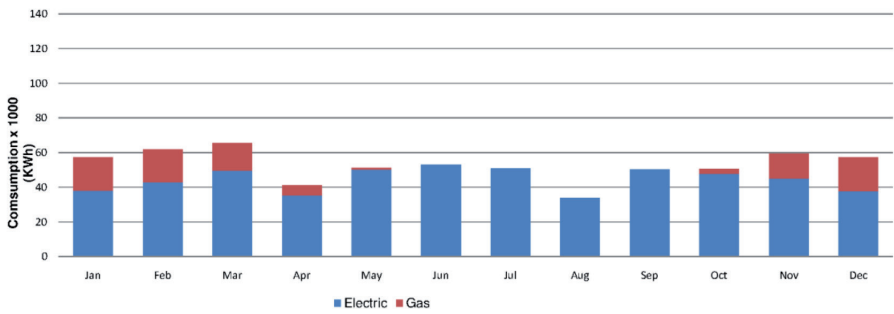


Fig. 2. Caso 2: Consumo mensual de gas y electricidad

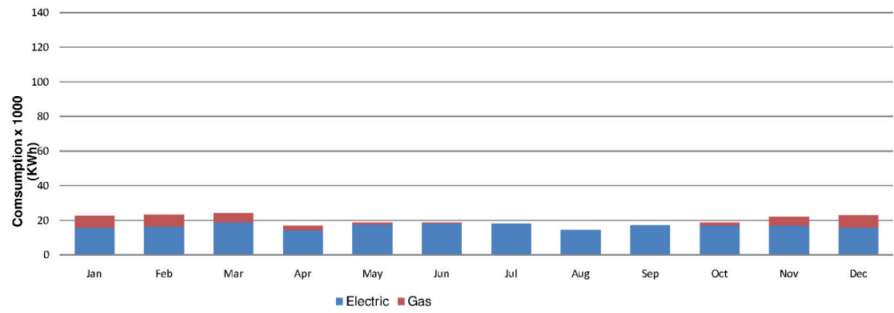


Fig. 3. Caso 3: Consumo mensual de gas y electricidad

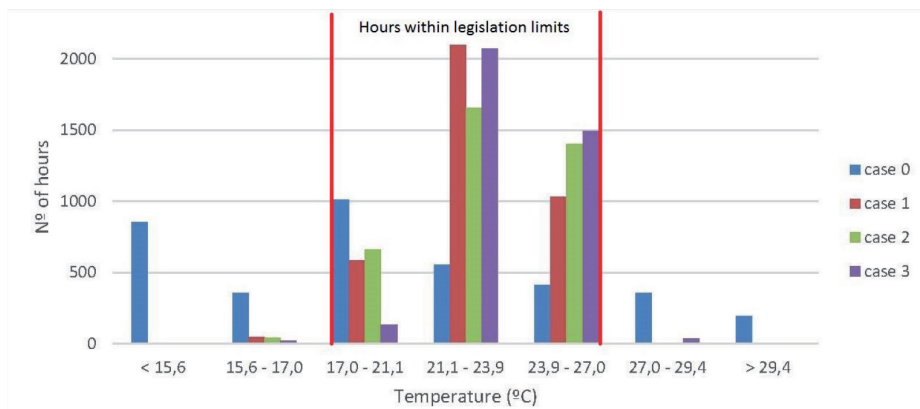


Fig. 4: Comparación de las temperaturas por hora

MWh/año para el caso 3. Como la superficie del taller es de 1.150 m², los consumos unitarios de energía son de 1.010, 550 y 205 kWh/m² · año, respectivamente.

4. CONCLUSIONES

En lo que respecta al sistema más eficiente para el aire acondicionado de un taller parcialmente abierto, el análisis del

consumo de energía durante un año permite concluir que:

- El control térmico ambiental por medio de las cortinas de aire colocadas en las puertas de entrada y salida es una estrategia ineludible antes de acondicionar el local, ya que reduce el consumo de energía en un 45,55%, en comparación con el caso de puertas totalmente abiertas.

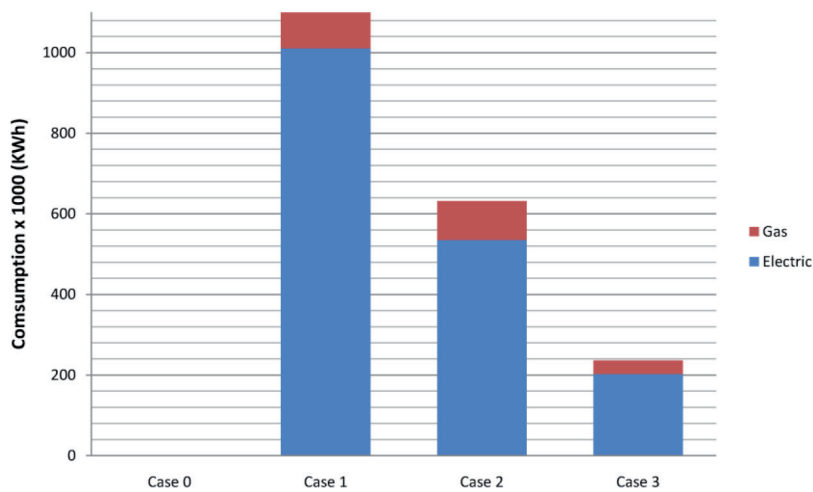


Fig. 5: Comparación del consumo de gas y electricidad

- Suponiendo que se haya adoptado una estrategia previa de separación del clima, los sistemas de alta eficiencia como el propuesto, compuesto por una caldera de gas de condensación, la ventilación por desplazamiento suministrada por una unidad de tratamiento de aire exterior dedicada con recuperación de calor y enfriamiento indirecto por evaporación, reduce el consumo eléctrico al 37,81% y el consumo de gas a 35,28%, en comparación con un sistema HVAC convencional.
- El ahorro total de energía con el sistema propuesto completo se eleva hasta el 79,63%.
- A la luz de los resultados relativos al consumo de energía por unidad de superficie, es evidente que la única forma aceptable de acondicionar los talleres de ITV, en aras de cumplir la legislación laboral, es utilizar sistemas HVAC altamente eficientes como el propuesto en esta investigación.

surveys in the UK retail sector, or 'Keeping the cold in', in: Proceedings of International Conference on Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings, Frankfurt, Germany, 2006.

5. REFERENCIAS

- [1] European Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2003 on the energy performance of buildings, Official J European Union OJ L1 (2003) 65-71.
- [2] European Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Official J European Union 53 (2010) L 153-13, Art. 7.
- [3] T. Gil-Lopez, A. Sanchez-Sanchez, C. Gimenez Molina. Energy, environmental and economic analysis of the ventilation system of enclosed parking garages: Discrepancies with the current regulations. Applied Energy 113 (2014) 622-630.
- [4] N. Brown, J.A. Caeiro, H. Bruhns, A.J. Wright, A.J. Summerfield, T. Oreszczyn, Air Conditioning
- [5] T. Gil-Lopez, J. Castejon-Navas, M.A. Galvez-Huerta, V. Gomez-Garcia, Predicted percentage of dissatisfied and air age relationship in ventilation systems: Application to a laboratory, HVAC&R Research 19 (2013) 76-86.
- [6] T. Gil-Lopez, M.A. Galvez-Huerta, J. Castejon-Navas, V. Gomez-Garcia, A first approach to the problem of settling the ventilation rate that minimizes the predicted percentage of dissatisfied: Application to a clean room. Advanced Science Letters 19 (2013) 2823-2830.
- [7] P.M. Dieguez-Elizondo, T. Gil-Lopez, P.G. O'Donohoe, J. Castejon-Navas. An analysis of the radioactive contamination due to radon in a granite processing plant and its decontamination by ventilation. Journal of Environmental Radioactivity 167 (2017) 26-35.
- [8] R.D. 486/1997, Minimum Safety and Health Requirements in Workplaces, Spanish Government, Madrid, 1997, Art. 7 and Annex III.
- [9] R.D. 486/1997, Minimum Safety and Health Requirements in Workplaces, Spanish Government, Madrid, 1997, Annex III. 3.c.3.
- [10] R.D. 486/1997, Minimum Safety and Health Requirements in Workplaces, Spanish Government, Madrid, 1997, Annex III. 3.b.
- [11] F. Allard, Y. Utsumi, Airflow through large openings, Energy and Buildings 18 (1992) 133-145.
- [12] W. Gosney, H. Olama, Fully developed flow for doors and gaps with vertical cross section, ASHRAE Refrigeration Handbook, Atlanta, 2002, ch 12 p. 13.
- [13] T. Gil-Lopez, M.A. Galvez-Huerta, J. Castejon-Navas, V. Gomez-Garcia, Analysis of carbon impact using mix energy sources for industrial heating applications. An assessment of options to retrofit services in an existing building. Fuel Processing Technology 103 (2012) 151-159.
- [14] European Directive 2009/40/EC of the European Parliament and of the Council of 6 May 2009 on periodic roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers and
- [15] T. Gil-Lopez, M.A. Galvez-Huerta, J. Castejon-Navas, V. Gomez-Garcia, Experimental analysis of energy savings and hygrothermal conditions improvement by means of air curtains in stores with intensive pedestrian traffic, Energy and Buildings 67 (2013) 608-615.
- [16] Biddle Innovative Klimatechnik, VACP (visual air curtain performance) - Luftschleier - Simulation, Gesellschaft mit beschränkter Haftung, Germany, 2012.
- [17] H.A.J. Hammink, L.J.A.M. Hendriksen, Determination of the climatic separation efficiency of Biddle air curtains Doorflow HP200 and Indac S200 under laboratory conditions, TNO rapport 060-APD-2011-00144-2 (2011).
- [18] T. Gil-Lopez, J. Castejon-Navas, M.A. Galvez-Huerta, P.G. O'Donohoe, Energetic, Environmental and Economic Analysis of Climatic Separation by means of Air Curtains in Cold Storage Rooms, Energy and Buildings 74 (2014) 8-16.
- [19] Seville City Government, Ordenanza municipal de Actividades, Seville City Council, 2001.
- [20] A.M. Foster, M.J. Swain, R. Barrett, P. D'Agaro, S.J. James, Effectiveness and optimum jet velocity for a plane jet air curtain used to restrict cold room infiltration, International Journal of Refrigeration 29 (2006) 692-699.
- [21] T. Gil-Lopez, M.A. Galvez-Huerta, P.G. O'Donohoe, J. Castejon-Navas, Analysis of the influence of the return position in the vertical temperature gradient in displacement ventilation systems for large halls, Energy and Buildings 140 (2017) 371-379.
- [22] A.M. Foster, M.J. Swain, R. Barret, P. D'Agaro, L.P. Ketteringham, S.J. James. Three-dimensional effects of an air curtain used to restrict cold room infiltration. Applied Mathematical Modelling 31 (2007) 1109-1123.
- [23] J. Hirsch and Associated, DOE-2.2 Building energy use and cost analysis program, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, 2004.
- [24] D.B. Crawley, J.W. Hand, M. Kummert, B.T. Griffith, Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, Building and Environment 43 (2008) 661-673.
- [25] IDAE, Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER, in: Ministerio de la Vivienda (Eds.), Calificación de Eficiencia Energética de Edificios, Spanish Government, 2009.
- [26] AEMET, State Meteorological Agency, Ministry of the Environment, Rural and Marine Environment, Spanish Government, 2012.