

Julio F. San José (julsan@eii.uva.es)

Ana Tejero

Víctor Matheus de Freitas

Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid

Andrés M. Zarzuelo

Hospital Clínico Universitario de Valladolid

Ahorro de energía en el ajuste del caudal de aire de ventilación de los quirófanos en periodos inactivos

El funcionamiento de los sistemas de climatización y ventilación actualmente en los quirófanos está regulado como si el quirófano estuviera con actividad quirúrgica todo el tiempo; sin embargo, la mayor parte del tiempo los quirófanos carecen de actividad. Este artículo estudia la implementación de una estrategia que reduce el caudal de aire en los periodos inactivos sin comprometer la asepsia del quirófano, y evalúa el ahorro energético que se obtiene.

Introducción

La reducción del caudal de aire en los quirófanos en periodos sin actividad no es una idea nueva, los primeros estudios sobre la reducción de los caudales de ventilación en quirófanos, modificando las consignas de regulación, lo realiza Woods en 1986 (1). En este trabajo se pone de manifiesto los importantes ahorros económicos que se consiguen con la reducción del caudal de ventilación, encontrando como limitación de esta estrategia el que se puede favorecer las infecciones. Wang (2) en un hospital de Taiwán realizó una simulación numérica, validada con datos experimentales, realizando un estudio sobre el rendimiento del sistema de ventilación y climatización de un quirófano desocupado, concluyendo que es posible tener un ahorro energético con la disminución del caudal de impulsión en más de 50% sin pérdida de eficiencia en la eliminación de partí-

culas, ya que se mantiene una presión diferencial superior a 1 Pa. Porowski (3) simula la optimización de la ventilación de un quirófano, mediante dos modos de funcionamiento: modo activo (operación en curso) y modo pasivo (sin actividad quirúrgica), donde el caudal de aire exterior, en modo sin actividad, se reduce al 30% del caudal presente en modo activo.

En vista de todos estos trabajos previos, parece que la reducción de caudal de aire de impulsión en quirófanos es una estrategia que permite importantes ahorros. El control del caudal de ventilación en los quirófanos en periodos sin actividad debe garantizar: i) el mantenimiento de la sobrepresión del quirófano, cuando se reduce el caudal de aire, ii) la eficiencia del sistema cuando funciona el recuperador y cuando no funciona el recuperador. Y finalmente iii) lograr ahorros de energía por la reducción de caudal.

Metodología

El trabajo se ha desarrollado en el Hospital Clínico Universitario de Valladolid (HCUVa), que fue inaugurado en 1978 con 700 camas de hospitalización, en el 2013 se construyó una nueva área quirúrgica con 18 quirófanos, con quirófanos de dos tipos: (flujo unidireccional) y (flujo de mezcla) de acuerdo a la UNE 100713: 2005 (4). En la Figura 1 se puede ver la distribución de la zona del área quirúrgica en la que se ubican los quirófanos de estudio. En concreto, los quirófanos que se analizan son los codificados como Q37 y Q38 que son ambos del flujo de mezcla.

El SCADA del HUCVa registra todos los parámetros necesarios para la realización del estudio. Antes de comenzar la recogida de parámetros es necesario:

- Fijar los parámetros utilizados en este estudio que son: Temperatura, hu-



Figura 1. Distribución de los quirófanos a estudio. Fuente: Servicio de ingeniería y mantenimiento del HCUVa.

Tabla 1. Factores a estudio y estados en que se puede encontrar cada factor.

Factores	Estados	
	Caudal de aire impulsión (m ³ /h)	2700
Estado de funcionamiento recuperador	ON	OFF

aire de: 2700 m³/h (funcionamiento normal) y el Q38 impulsando un caudal de aire de: 1350 m³/h (funcionamiento reducido), los resultados se presentan en la gráfica 1, y se comprueba que la reducción no incide en la calidad del ambiente interior en periodos sin actividad.

medad y entalpía de los flujos de aire: exterior, impulsión y quirófano; también se utiliza la potencia de los ventiladores de la UTA y la sobrepresión del quirófano.

gravidad de las partículas El mayor reto es mantener la sobrepresión del quirófano, para evitar contaminaciones cruzadas de otras zonas.

A continuación, se estudió el ahorro de energía; para ello se consideró la reducción del tratamiento del aire y, por otro lado, de energía eléctrica de los ventiladores al reducir la potencia del ventilador.

- La frecuencia de muestreo se ha optado por un registro cada 10 minutos, lo que supone 144 registros por parámetro y día.

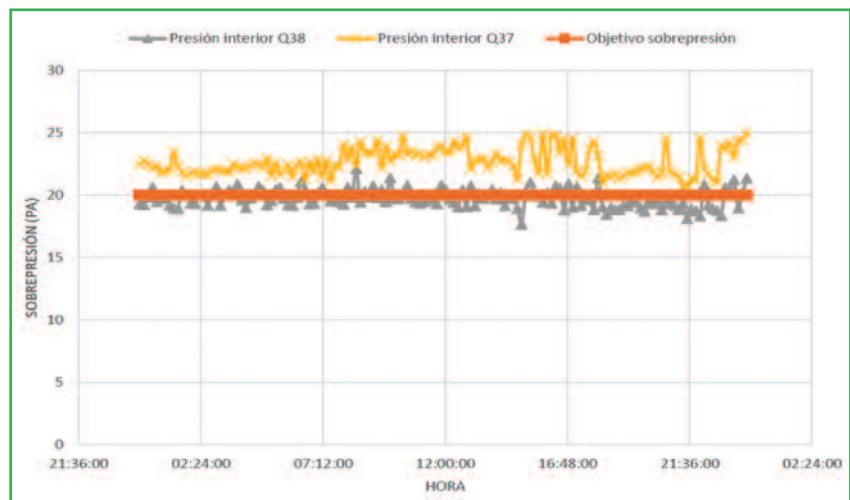
Se comparan los datos de sobrepresión del Q37 impulsando un caudal de

En la gráfica 2 se presentan la potencia térmica consumida por las climatiza-

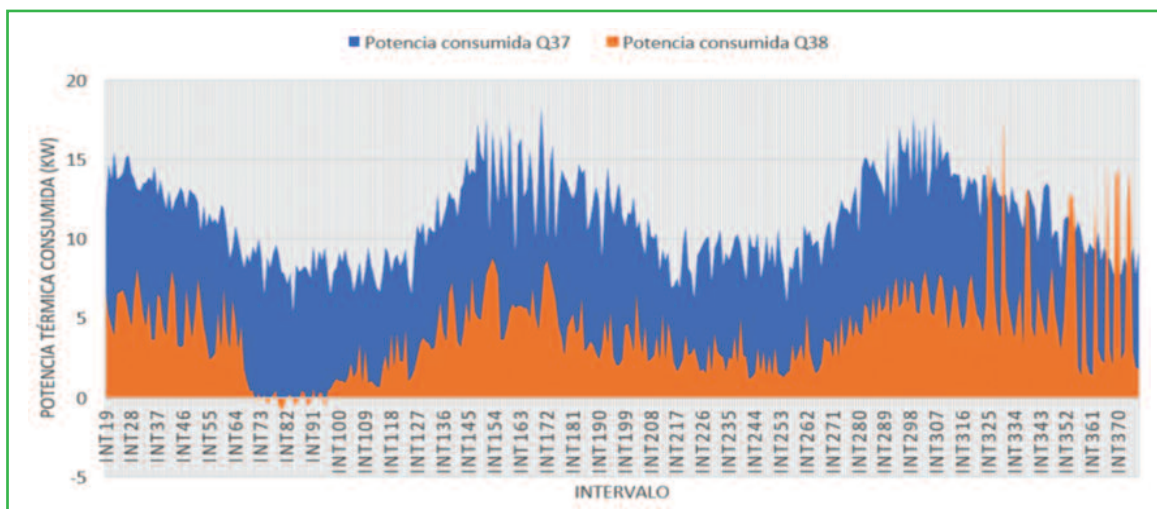
- Cuaderno de cargas de los diferentes factores a estudio. Para ellos se toman dos factores: caudal de aire impulsado y funcionamiento del recuperador. En la tabla 1 se recogen los factores y los estados.

Análisis y resultados

El primer análisis que se realiza es que la reducción de caudal de impulsión no incide en la asepsia de quirófano y el movimiento de aire dentro de la sala de operaciones evita la decantación por



Gráfica 1. Evolución de la sobrepresión en los quirófanos Q37 y Q38.



Gráfica 2. Consumo térmico de los quirófanos Q37 y Q38 en todo el periodo analizado.

doras, donde se reduce el caudal de aire impulsado un 50% en el quirófano Q38 y se mantiene el caudal en el quirófano Q37.

Para poder extrapolar los resultados obtenidos en todo el periodo de calefacción, se obtiene una recta, por mínimos cuadrados, que permite determinar la potencia térmica consumida por las climatizadoras en función de la entalpía del aire exterior; en la gráfica 3 se presentan las rectas.

El consumo eléctrico se determina con los datos que aporta el variador de

frecuencia de la climatizadora del quirófano Q38: cuando el caudal se mantiene a 2700 m³/h, el consumo es 1,073 kW y cuando el caudal se reduce a 1350 m³/h, el consumo es 0,201 kW.

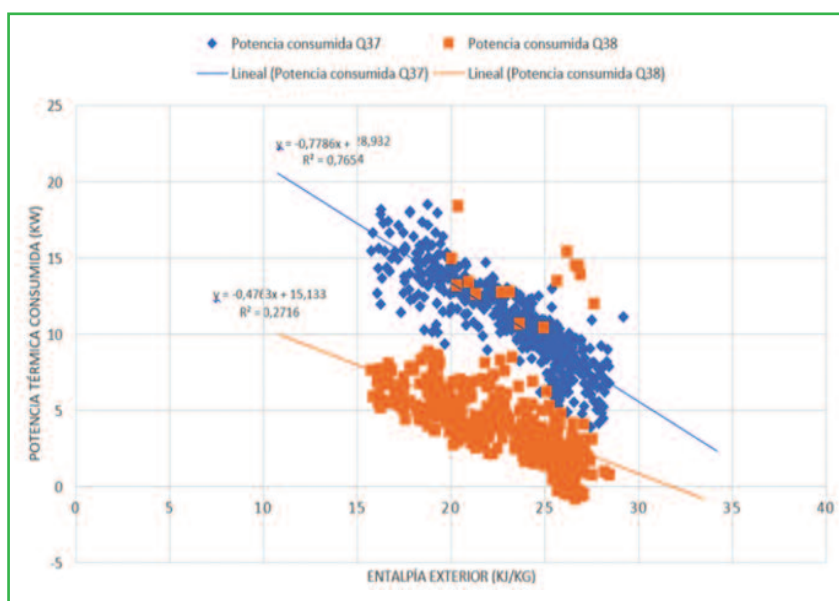
Utilizando el año meteorológico tipo de Valladolid del Código Técnico de la Edificación, Ahorro de Energía, Documento Básico (CTE-HE-DB) Climas.met (5), se obtiene la entalpía exterior en el periodo de invierno, para ello se considera que la temperatura exterior debe estar por debajo de 21 °C, aunque las temperaturas de quirófano suelen ser 25 °C. Para evitar problemas de hipotermia del

paciente, se ha considerado que 21 °C es una temperatura de impulsión, que permite alcanzar la temperatura de consigna, mediante las cargas del propio quirófano.

Se consideran tres escenarios prácticos y posibles para la utilización de la estrategia de reducir caudal sin comprometer el funcionamiento normal del hospital:

1. Sólo en los fines de semana (desde el viernes a las 18:00 hasta el lunes a las 6:00).
2. Entre semana todos los días desde las 18:00 hasta las 6:00 del día siguiente, más los fines de semana como en el escenario 1.
3. Entre semana todos los días desde las 17:00 hasta las 9:00 del día siguiente más los fines de semana como en el escenario 1.

Los ahorros de energía térmica y eléctrica se obtienen: con las rectas de regresión obtenidas, los consumos de los ventiladores y los costes de energía. En este caso se han aplicado las tarifas energéticas de HCVA vigentes cuando se hizo el estudio, siendo: tarifa eléctrica 11,31 c€/kWh y tarifa térmica 3,94 c€/kWh. Los resultados de los tres escenarios se resumen en la tabla 2.



Gráfica 3. Ajuste de los consumos en función de la entalpía exterior.

Tabla 2. Ahorros de energía y económicos sobre tres escenarios diferentes.

	Escenario 1 (Fin de semanas)	Escenario 2+1 (Reducción 12h)	Escenario 3+1 (Reducción 16h)
Tiempo asociado (h)	3127	5368	6298
Consumo sin reducción (kWh)	32675,64	62448,92	74853,99
Consumo con reducción (kWh)	13374,42	24312,43	29657,44
Ahorro energético (kWh)	19301,22	38136,49	45196,55
Ahorro energético (€)	760,47	1502,58	1780,74
Ahorro eléctrico (kWh)	2814,3	4831,2	5668,2
Ahorro eléctrico (€)	318,3	546,41	641,07
Ahorro/quirófano (kWh)	22115,52	42967,69	50864,75
Ahorro/quirófano (€)	1078,77	2048,99	2421,82
Aplicado las estrategias a los 18 quirófanos			
Ahorro total (MWh)	398,08	773,42	915,57
Ahorro/quirófano (€)	19.417,78	36.881,75	43.592,72

Conclusiones

La reducción de caudal de impulsión en los quirófanos en los periodos de inactividad, no incide en la asepsia del aire del quirófano, al mantener la sobrepresión y permitir restaurar las condiciones de quirófano en actividad de forma rápida, (menos de un minuto).

La recuperación de energía del aire de extracción no consigue los ahorros de energía que se consiguen con la reducción de caudal de impulsión en los periodos de inactividad; además, pueden ser estrategias que se apliquen simultáneamente.

Los datos experimentales, tomados en diferentes periodos de tiempo, han permitido obtener, mediante regresión por mínimos cuadrados, una ecuación que permite relacionar la entalpía del aire exterior con el consumo de la climatizadora, para los diferentes casos.

Los ahorros térmicos obtenidos son importantes, siendo aproximadamente de 19 MWh a 45 MWh año por quirófano,

según la estrategia y los ahorros eléctricos no son despreciables, siendo de 2,8 MWh a 5,6 MWh año por quirófano, según la estrategia.

Los ahorros económicos son considerables, a lo que habría que añadir que no hay coste de implantación de cualquier estrategia, pudiendo ajustarse según uso de los quirófanos por lo simple que supone reprogramar el SCADA del hospital.

La estrategia es aplicable a otros hospitales y otras zonas hospitalarias de uso discontinuo; incluso existe la posibilidad de ajustar la reducción de caudal a la actividad real del quirófano, mediante un sensor de presencia que regule el caudal de impulsión, con una temporalización adecuada para la reducción.

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación obtenida para el desarrollo del siguiente proyecto: *Alternativas de recuperadores de calor en el diseño de edificios próximos a cero energías (nZEB) y rehabilitación de edificios (EREN_2019_L2_UVA)*, a través del

Programa de Actuaciones de I+D+i en materia de eficiencia energética del Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN).

Referencias

- (1) J. E. Woods, G. L. Reynolds, G. M. Montag, D. T. Braymen, and R. W. Rasmussen, Ventilation Requirements in Hospital Operating Rooms – Part I: Energy and Economic Implications., ASHRAE Trans., vol. 92, no. pt 2A, pp. 427–449, 1986.
- (2) F. J. Wang, T. B. Chang, C. M. Lai, and Z. Y. Liu, Performance improvement of airflow distribution and contamination control for an unoccupied operating room, 2012. <http://www.ibpsa.org/proceedings/asim2012/0130.pdf>.
- (3) M. Porowski, Energy optimization of HVAC system from a holistic perspective: Operating theater application, Energy Convers. Manag., vol. 182, pp. 461–496, Feb. 2019.
- (4) AENOR, UNE100713, Instalaciones de acondicionamiento de aire en Hospitales, AENOR, 2005.
- (5) CTE-HE-DB, Climas.met. https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/CTEdatosMET_20140418.zip.