

CONTAMINACIÓN CRUZADA EN QUIRÓFANOS: INCIDENCIA DE LA APERTURA DE PUERTAS

Julio San José Alonso, José Manuel Villafruela Espina, Francisco Castro Ruiz y Andrés Zarzuelo Sánchez*.

Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, Paseo del Cauce nº 59, 47011 Valladolid. Tfno: +34 983 423310. julsan@eii.uva.es

*Servicio de Ingeniería y Mantenimiento, Hospital Clínico de Valladolid, Avd. Ramón y Cajal nº 3, 47005 VALLADOLID

Resumen

Los hospitales son recintos donde se concentran personas portadoras de microorganismos patógenos, que son focos potenciales de infecciones. El traslado frecuente de pacientes en el hospital, produce que se emitan flora microbiana, que puede contaminar directamente o indirectamente a otras personas. En un hospital se dan las condiciones necesarias para la transmisión de infecciones al existir: a) focos emisor, b) medios de transmisión y c) receptores. Si, además, añadimos el hacinamiento de personas y la existencia de pacientes inmunodeprimidos, se entiende que muchos pacientes sufran, lo que se conoce como, Infección Nosocomial.

Las Infecciones Nosocomiales (IN) se definen como: “Una infección contraída en el hospital por un paciente internado por una razón distinta de esa infección”¹. Esta definición supone: i) El paciente ha sido internado en un hospital. ii) El paciente sufre una infección, durante su estancia en el hospital o después del alta. iii) Esta infección no se había manifestado ni se encontraba en periodo de incubación en el momento del internamiento. iv) La infección la adquirió en su estancia en el hospital. Algunos autores incluyen las infecciones ocupacionales del personal del establecimiento².

Las IN adquiridas en ingresos hospitalarios suponen un alto coste económico y humano para los sistemas de salud. Un estudio auspiciado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 55 hospitales de 14 países, concluyó: que el 8,7 % de los pacientes hospitalizados desarrollan una infección nosocomial, extrapolando estos resultados, resulta que, 1,4 millones de personas sufren una IN al día en el mundo.³ Los costes asociados a las IN han sido estudiados por diversos autores en diferentes países, Coello⁴ en un estudio sobre los costes ocasionados por las infecciones nosocomiales en el Reino Unido, estimando un

¹ Ducl G et al. Guide pratique pour la lutte contre l'infection hospitalière. WHO/BAC/79.1.

² Benenson AS. Control of communicable diseases manual, 16th edition. Washington, American Public Health Association, 1995.

³ World Health Organization, Department of Communicable Disease, Surveillance and Response. Prevention of hospital-acquired infections, a practical guide (2nd edition). WHO/CDS/CSR/EPH/2002.12

⁴ Coello R, Glenister H, Fereres J, Bartlett C, Leigh D, Sedgwick J, Cooke EM. The cost of infection in surgical patients: a case control study. Journal of Hospital Infection 1993, 25: 239-250.

sobrecoste de 1.041 libras por paciente. Martone⁵ estima los costes de las infecciones nosocomiales en Estados Unidos en 1.600 millones de dólares al año. En España hay estudios, como el realizado por Allúe⁶, con datos de 12 hospitales, que permiten estimar el coste anual de 1.308 millones de euros y una mortalidad de 10.427 personas/año.

Los servicios donde existe mayor probabilidad de desarrollar una IN en un hospital son: Las unidades de cuidados intensivos, las áreas quirúrgicas y las de pacientes agudos. Las infecciones más frecuentes son: las heridas quirúrgicas, las vías urinarias y las vías respiratorias. Los estudios también ponen en evidencia, que la prevalencia es mayor para pacientes inmunodeprimidos.

Las IN adquiridas tras una intervención quirúrgica realizadas en quirófanos, varía entre el 0,5 y el 15 %, dependiendo del tipo de intervención y estado del paciente⁷. La transmisión por aire de la IN en los quirófanos, se produce cuando existen agentes aerotransportados, gotas y partículas, que transfieren la enfermedad de forma directa al paciente o indirecta por contaminación de equipos.⁸

Las áreas quirúrgicas de los hospitales disponen de protocolos, instrucciones, recomendaciones y normas para el control de IN. Las principales normas que deben cumplir los sistemas de ventilación y climatización, son de carácter: nacional, europeo e internacional^{9,10 y 11}. Pero en el caso de los quirófanos, una de las principales tareas del sistema de ventilación es la de minimizar la tasa de deposición de partículas aerotransportadas portadoras de patógenos en el área quirúrgica. Con este propósito se le exigen dos funciones adicionales al sistema de climatización: por un lado, mantener el quirófano en sobrepresión respecto de las áreas adyacentes para evitar la entrada de aire de los recintos anexos, y por otro, proporcionar un patrón de flujo de aire adecuado dentro del quirófano.

En cuanto a la sobrepresión (o presión positiva), aunque los diferentes estándares y regulaciones internacionales recomiendan valores diferentes, 20 Pa es un valor ampliamente aceptado. Para conseguir esta sobrepresión habrá que fijar una diferencia entre el caudal de aire aportado al quirófano y el caudal extraído, que dependerá de la estanqueidad de cada recinto.

En todos los casos, la apertura de puertas supone la pérdida de la sobre presión y, por lo tanto, la posibilidad de que aparezcan entradas de aire del exterior, dando lugar a flujos y corrientes de aire de locales de menores requerimientos, lo que se suele llamar: contaminaciones cruzadas. Se puede definir la

⁵ Martone WJ, JarvisWr, Culver DH, Haley RW. Incidence and nature of pandemic and epidemic nosocomial infections. In: Bennett JV, Brachman PS, Eds. Hospital Infection. Boston: Little, Brown, and Company 1992; 577-596.

⁶ Allúe N., P. Chiarello, E.B. Delgado, and al "Impacto económico de los eventos adversos en los hospitales españoles a partir del conjunto mínimo básico de datos. Gaceta Sanitaria, 2014;28(1) 48-54.

⁷ Hajjar, j. et al. Réseau ISO sud-Est: un an de surveillance des infections du site opératoire. Bulletin Épidémiologique Hesdomadaire, 1996, No 42.

⁸ Knight MD. Airborne transmission and pulmonary deposition of respiratory viruses-Airborne transmission and airborne infection. Enschede, Oosthoek Publishing Company, 1973:175.183.

⁹ UNE 100713:2005, Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales, AENOR 2005.

¹⁰ EN 16244-2: Climatización y calidad de aire en quirófanos, Elaborada por el Comité europeo CEN/TC156/WG 18

¹¹ UNE-EN ISO 14644-1:2000. Salas limpias y locales anexos. Parte 1: Clasificación de la limpieza del aire.

contaminación cruzada como la transmisión de un local contaminado a otro local de agentes contaminantes.

La normativa aplicable se ha desarrollado para períodos estacionarios, sin aperturas de puertas ni tránsito de personas. Esta situación está lejos de la realidad, en la que las puertas se abren durante las intervenciones quirúrgicas debido al tránsito de personal, equipos o material sanitario. Estas aperturas generan entradas de aire procedente de zonas con menores requerimientos de calidad del aire, sometiendo a los pacientes a unas condiciones de calidad de aire, inferiores a los estándares de calidad requeridos por normativa, que pueden provocar problemas de contaminación por vía directa o indirecta.

Varios estudios muestran que al aumentar el número de veces que abre la puerta del quirófano la tasa de infecciones postoperatoria aumenta¹². Estudios sobre la apertura de puertas en procedimiento quirúrgico de reemplazo total de articulaciones, que son quizás el modelo del entorno operativo aséptico, establecieron una tasa mayor de 0,60 aperturas de puerta por minuto durante la cirugía^{13 y 14}.

Andersson et al.¹⁵ Estudio la necesidad de estas apertura de puerta, concluyendo que, el 30% de las aperturas de puertas son innecesarias en relación con la seguridad del paciente y el procedimiento en curso, y Panahi et al.¹⁶ señalan que el 47% de las entradas del personal en el quirófano no tenían ningún propósito y se podrían haber evitado fácilmente. Además, la mayoría de las aperturas de puertas "necesarias" son para solicitar información y pueden ser fácilmente realizadas por teléfono, informes electrónicos, finalización de datos operativos, o incluso "revisando un caso" a través de la ventana o en un circuito cerrado, sistema de monitoreo de video en tiempo real en lugar de entrar al quirófano. En cualquier caso la apertura de puertas en la intervención quirúrgica es inevitable y se debe buscar las medidas que minimizan el riesgo de contaminación aérea.

Este trabajo estudia los periodos transitorios debidos a la apertura de puertas del quirófano. Con el fin de caracterizar el patrón de flujo de aire que se produce, en la puerta del quirófano, durante la apertura de las puertas, se realizaron una serie de medidas experimentales en dos tipos de quirófanos, dos tipos de puertas y con tres parámetros de regulación de ventilación diferentes. Con ello se constata que existe infiltraciones de aire del exterior que entra a los quirófanos en cualquier situación ensayada, siendo el efecto mucho más acusado en puertas batientes que en puertas correderas.

Caracterización del área quirúrgica a estudio

¹² R.J. Lynch, M.J. Englesbe, L. Sturm, A. Bitar, K. Budhiraj, S. Kolla, Y. Polyachenko, M.G. Duck, D.A. Campbell, Measurement of foot traffic in the operating room: implications for infection control., *Am. J. Med. Qual.* 24 (2009) 45–52. doi:10.1177/1062860608326419.

¹³ E.B. Smith, I.J. Raphael, M.G. Maltenfort, S. Honsawek, K. Dolan, E.A. Younkings, The effect of laminar air flow and door openings on operating room contamination., *J. Arthroplasty.* 28 (2013) 1482–5. doi:10.1016/j.arth.2013.06.012.

¹⁴ P. Panahi, M. Stroh, D.S. Casper, J. Parvizi, M.S. Austin, Operating Room Traffic is a Major Concern During Total Joint Arthroplasty, *Clin. Orthop. Relat. Res.* 470 (2012) 2690–2694. doi:10.1007/s11999-012-2252-4.

¹⁵ A.E. Andersson, I. Bergh, J. Karlsson, B.I. Eriksson, K. Nilsson, Traffic flow in the operating room: an explorative and descriptive study on air quality during orthopedic trauma implant surgery., *Am. J. Infect. Control.* 40 (2012) 750–5. doi:10.1016/j.ajic.2011.09.015.

¹⁶ P. Panahi, M. Stroh, D.S., Casper, J. Parvizi, M.S. Austin. Operating room traffic is a major concern during total joint arthroplasty, *Clin.Orthop. Relat. Res.* 470 (2012) 2690-2694.

El área quirúrgica estudiada cuenta con dieciocho quirófanos de dos tipos, tipo A y tipo B según la norma UNE 100713. Los quirófanos se agrupan en grupos de cuatro y en grupos de dos (existiendo tres grupos de cuatro y tres grupos de dos). Cada grupo cuenta con un pasillo de entrada común a todos los quirófanos desde el cual se puede acceder, a través de una puerta, a los cuatro quirófanos, a través de otra puerta a dos salas de preparación del personal (que comparten cada dos quirófanos, y desde donde también se accede, a través de otra puerta a cada quirófano a los que da servicio) y finalmente, a través de otra puerta se accede a la zona sucia. 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 37 (tipo B o mezcla) y 39 (tipo A o laminar).

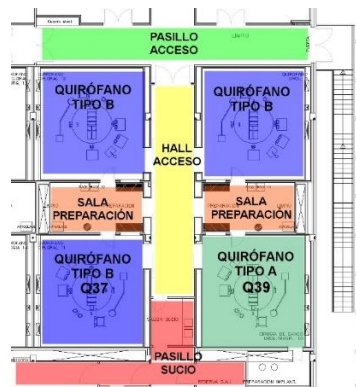


Figura 1 Distribución de los tipos de quirófanos en la zona de estudio.

Descripción de los sistemas de ventilación. Una parte importante del diseño de un quirófano es la forma de distribuir el aire en el quirófano, la ubicación de las rejillas de extracción e impulsión y el sistema de regulación encargado de mantener la sobrepresión del quirófano respecto a sus salas anexas.

Las rejillas de extracción son las encargadas de evacuar el aire del interior y expulsarlo al exterior. Se tienen ocho rejillas de extracción en cada quirófano, colocadas cuatro en la pared en la que se tiene la puerta de acceso al hall común y las otras cuatro opuestas a ésta. Las rejillas de cada pared se distribuyen, dos en la parte superior y dos en la parte inferior. La ubicación de las rejillas pretende que no existan puntos de remanso en el quirófano. Las rejillas inferiores tienen unas dimensiones de 380x105 mm y las rejillas superiores tienen unas dimensiones de 180x105 mm.

Los elementos terminales de impulsión de aire son distintos para cada quirófano dependiendo de si éste es de tipo A (laminar) o B (mezcla). En el quirófano 37 o tipo B el aire es difundido por cuatro difusores rotacionales colocados en el techo, mientras que en el 39 o tipo A se tiene una zona del techo formada por rejillas de impulsión de tal manera que éstas guían al aire formando una columna que cae sobre la zona donde se encuentra el paciente en la camilla. En la Figura 2 muestra el sistema de impulsión y extracción del quirófano 37 o tipo B y una foto del quirófano 39 o tipo A.

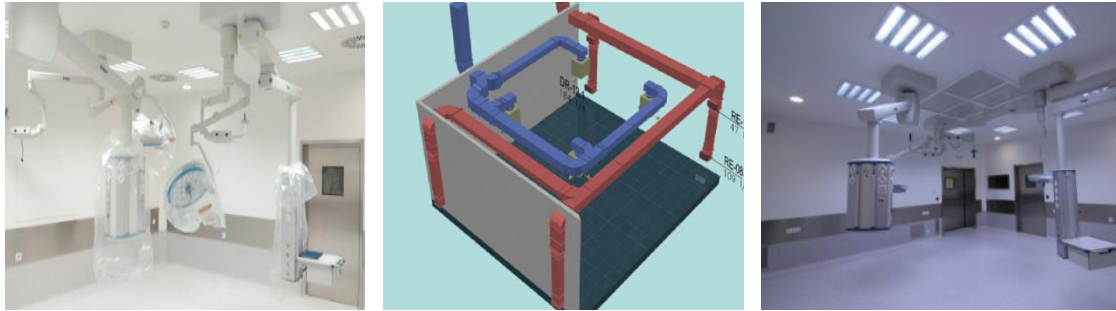


Figura 2: Ubicación de las rejillas de extracción e impulsión en quirófano. Izquierda: quirófano 37 o tipo B. Derecha: quirófano 39 o tipo A.

Descripción del sistema de regulación. Las distintas variables a tener en cuenta para un correcto acondicionamiento de un quirófano están controladas por diversos controladores PID implementados en el sistema de regulación SCADA del hospital. En lo que respecta a este estudio, el sistema de control que se tiene en cuenta es el de regulación de los caudales de impulsión y retorno. En este sistema, el caudal de impulsión se mantiene constante para garantizar la ventilación requerida por la normativa, mientras que el caudal de extracción es el que se regula para mantener la consigna de sobrepresión en el quirófano.

Uno de los parámetros del sistema de regulación que se tiene en cuenta es el valor mínimo que puede alcanzar la velocidad de giro de ventilador de extracción, expresada en porcentaje sobre el máximo posible (4157 rpm según el fabricante), directamente relacionada con el caudal de aire que el ventilador es capaz de extraer del quirófano. Este valor mínimo es de gran importancia por ser uno de los parámetros que se modifican durante la realización de los ensayos descritos a continuación, en la figura 3 se presenta la pantalla del SCADA de uno de los climatizadores.

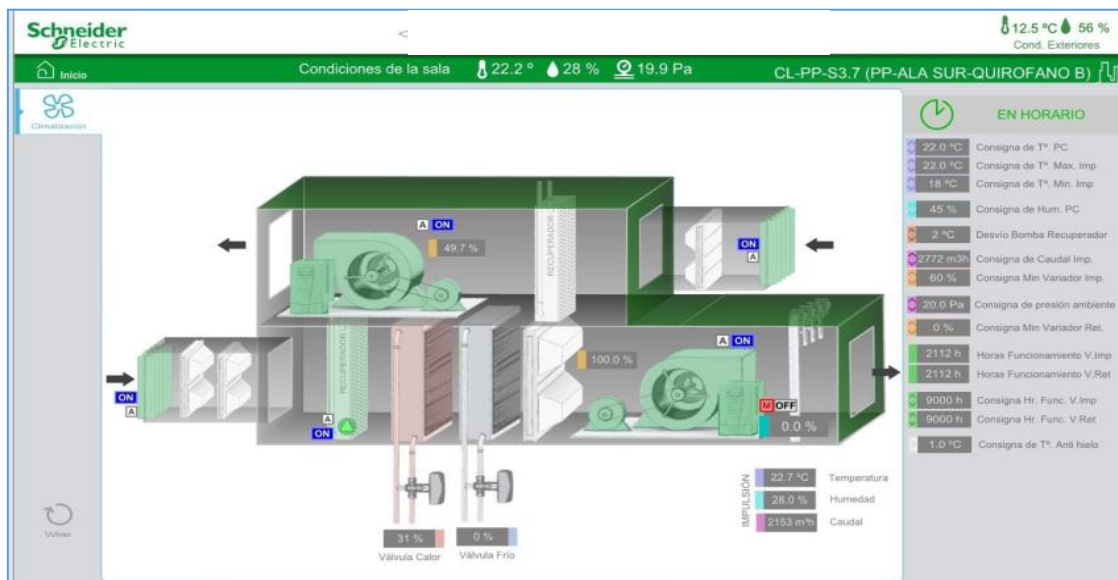


Figura 3: Pantalla de un climatizador de quirófano con las variables de control y regulación.

Cumplimiento de la normativa aplicable a áreas quirúrgicas. Antes de aplicar la metodología de medida se comprueba que el área quirúrgica cumple con los requerimientos sobre ventilación y climatización que se recogen en la tabla 1.

Tabla 1: Condiciones que deben cumplir los quirófanos tipo A y B según la norma UNE 100713:2005³⁰.

Tipo de quirófano	Tipo A	Tipo B
Flujo de aire	Unidireccional (Laminar)	Por dilución (Mezcla)
Caudal de aire	> 20 ren/h > 2400 m ³ /h	> 20 ren/h > 2400 m ³ /h
Aire recirculado	Si	No
Velocidad aire (m/s)	< 0,2	0,2 – 0,3
Temperatura diseño (°C)	18 - 26	18 - 26
Sobrepresión (Pa)	+20 a +25	+20 a +25
Humedad relativa (%)	40	40

Caracterización de la apertura de puertas. Para caracterizar la apertura de las puertas se ha caracterizado los siguientes elementos: a) el porcentaje de apertura de las puertas con el tiempo, en un proceso completo de apertura y cierre. b) El valor de la sobrepresión como varía con el proceso de apertura y cierre de la puerta del quirófano. c) La variación del caudal de aire de impulsión y extracción en el quirófano con el proceso de apertura y cierre de la puerta del quirófano. En la figura 4 se presentan las tres graficas de variación del grado de apertura, sobrepresión y caudal.

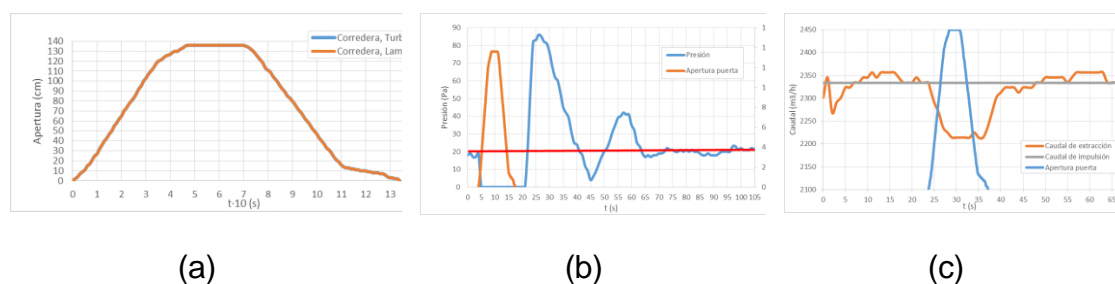


Figura 4: a) Graficas del área de apertura de la puerta corredera respecto al tiempo, b) Gráfica de la variación de la sobrepresión del quirófano con la apertura de la puerta y c) Grafica de la variación del caudal de impulsión y extracción de aire con la apertura de la puerta.

Establecer los parámetros que inciden en la contaminación cruzada

En el estudio se van a tener en cuenta los parámetros que se recogen en la tabla 2, se estudian dos tipos de quirófanos, dos tipos de puerta, tres consignas de

regulación del variador de frecuencia del ventilador de extracción y las aperturas sin y con tránsito de personas.

Tabla 2: Parametros considerados para el estudio del flujo de aire que atraviesa la puerta de un quirófano en procesos de entrada y salida.

Tipo de quirófano	Tipo de puerta	Consigna Regulación extracción	Acceso de personal
Quirófano laminar	Puerta batiente	Consigna I	Sin tránsito
		Consigna II	
Quirófano turbulento	Puerta corredera	Consigna III	Con tránsito

Desarrollar una metodología para medir los caudales de aire que atraviesan las puertas

Para caracterizar correctamente el flujo de aire a través de las puertas es necesario realizar medidas de la velocidad del aire en varios puntos de la misma. Por ello, cada puerta se dividirá en treinta partes iguales sobre las que se medirá la velocidad del aire durante una apertura de puerta. El origen de los ejes de referencia está situado en la parte más baja de la puerta, en el lado contrario a la parte por donde comienza a abrirse ésta. Los ejes de referencia de cada puerta se han elegido de manera que el eje Z tenga sentido ascendente y el eje X se dirija desde el origen hacia la parte por donde comienza a abrirse la puerta.

El mallado de cada puerta se indica en la Figura 5, donde las intersecciones de las líneas indicadas representan un punto de medida de velocidad del aire, dando un total de 30 puntos de medida por puerta.

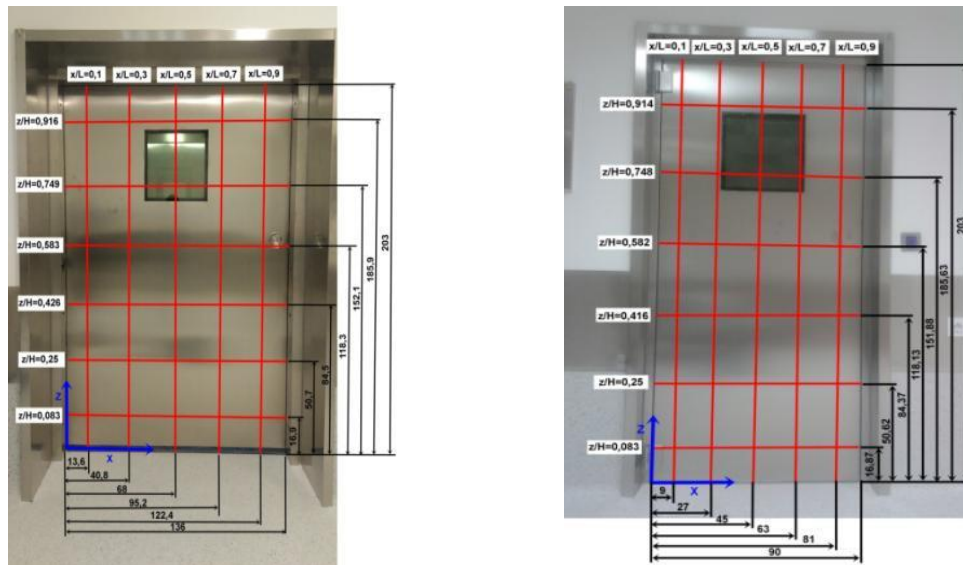


Figura 5: Mallado de las puertas batientes y corredera, cotas en centímetro.

Las medidas de la velocidad del aire en la puerta se han medido con un anemómetro de ultrasonidos 3D modelo WA-590 de Kaijo Sonic Corporation, en la figura 6, se muestra un esquema del equipo y su posicionamiento para medir en un área de la puerta.

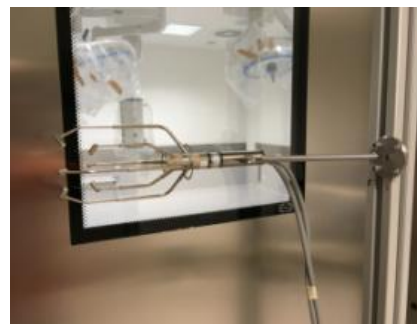
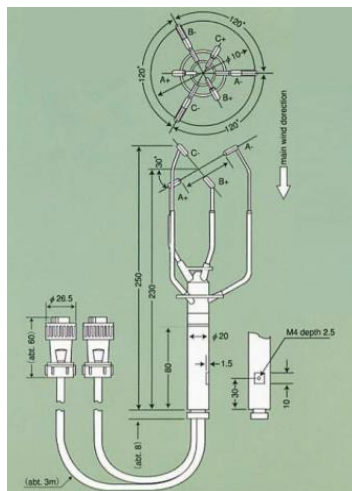


Figura 6: esquema de principio del anemometro de ultrasonidos 3D modelo WA-590 de Kaijo Sonic Corporation y posicionamiento para medida en el proceso de apertura de puertas.

Las características de equipo de medida se recogen en la tabla 3.

Tabla 3: Características de anemómetro sónico WA-590 de Kaijo Sonic Corporation

Anemómetro sónico 3D WA-590 de KAIJO SONIC CORPORATION	
Características	Información
Técnica de medida	Tiempo entre transmisión y recepción
Rango de medida	10 m/s
Precisión de la medida	$\pm 2\% + 0,02$ m/s del valor absoluto del valor medio
Resolución	$< 0,005$ m/s
Velocidad de respuesta	0,5 s
Frecuencia de muestreo	10 Hz
Rango de operación	0 – 40 °C y 0-85 % HR (sin condensación)
Fuente de alimentación	Ac 100 v a 240 V $\pm 10\%$, DC12V 9 W

Experimentación

Una vez comprobada la repetibilidad del proceso, se realizan medidas de la velocidad del aire en los **treinta puntos de medida** de cada puerta para posteriormente calcular los caudales de aire entrante y saliente. Durante este ensayo se realizan medidas durante aperturas de las puertas **correderas y batientes** de los dos quirófanos y con **tres consignas** del variador de frecuencia por cada quirófano ($\omega-1$, $\omega-2$, $\omega-3$ para el quirófano turbulento; y laminar). En cada uno de los puntos se realizan **dos medidas** consecutivas con una **duración de 60 segundos** cada una, y en las que la puerta comienza a abrirse a los **10 segundos** de comenzar dicha medida. Además, entre cada una de ellas se realiza una pausa de **30 segundos** con el fin de permitir que el patrón de flujo en el quirófano se estabilice.

Una vez Realizado el montaje y demás preparaciones para el comienzo de las medidas, se procedió a la realización de los diferentes ensayos, en la figura 7 se muestra las medidas obtenidas de la velocidad en un área a estudio, en un proceso de apertura y cierre de la puerta corredera.

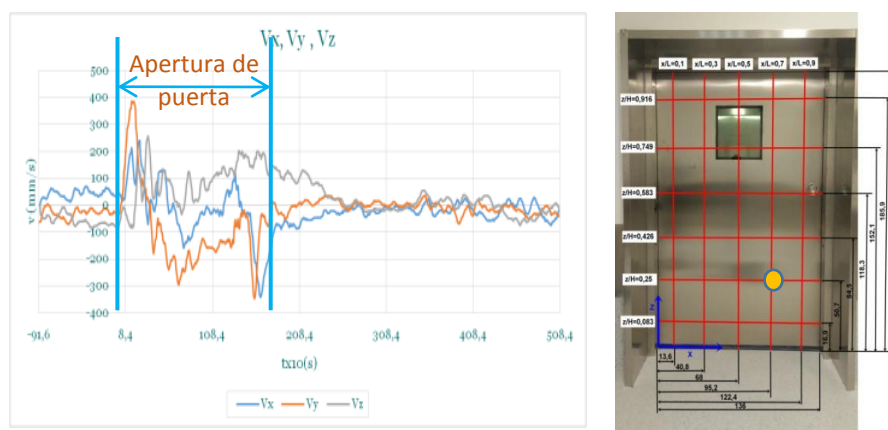


Figura 7: Medidas para la puerta corredera del quirófano turbulento, con regulación $\omega-2$.

Resultados

El volumen de aire que atraviesa la puerta se puede calcular como la suma de los volúmenes que la atraviesan en cada intervalo temporal (en este caso 0,1 segundos). Estos volúmenes se calculan como el producto del caudal de aire (entrante o saliente) por el tiempo que ese caudal de aire se mantiene a través de la puerta. A su vez, el caudal de aire se define como el producto entre el área de paso de ese aire y la velocidad perpendicular a dicha área.

En el caso estudiado en este trabajo, la componente de la velocidad que se tiene en cuenta en el cálculo de los caudales es la Y. Para que dicho cálculo sea correcto habrá que tener en cuenta los ejes de referencia ya que, dependiendo el caso, una velocidad entrante/saliente al quirófano podrá ser positiva o negativa.

Por otro lado, es necesario conocer el área de paso del aire para poder calcular el caudal y, por tanto, el volumen de aire que atraviesa la puerta. Para ello, a cada punto se le asigna un área cuyas dimensiones dependen de si se trata de una puerta corredera o una batiente. Para el caso de las puertas correderas estas áreas tienen unas dimensiones de 27,2 centímetros de ancho por 33,8 centímetros de alto; mientras que para las puertas batientes las dimensiones son de 18 centímetros de ancho por 33,7 centímetros de alto. Dichas áreas se ilustran en las Figuras 8 como los rectángulos delimitados por las líneas amarillas.

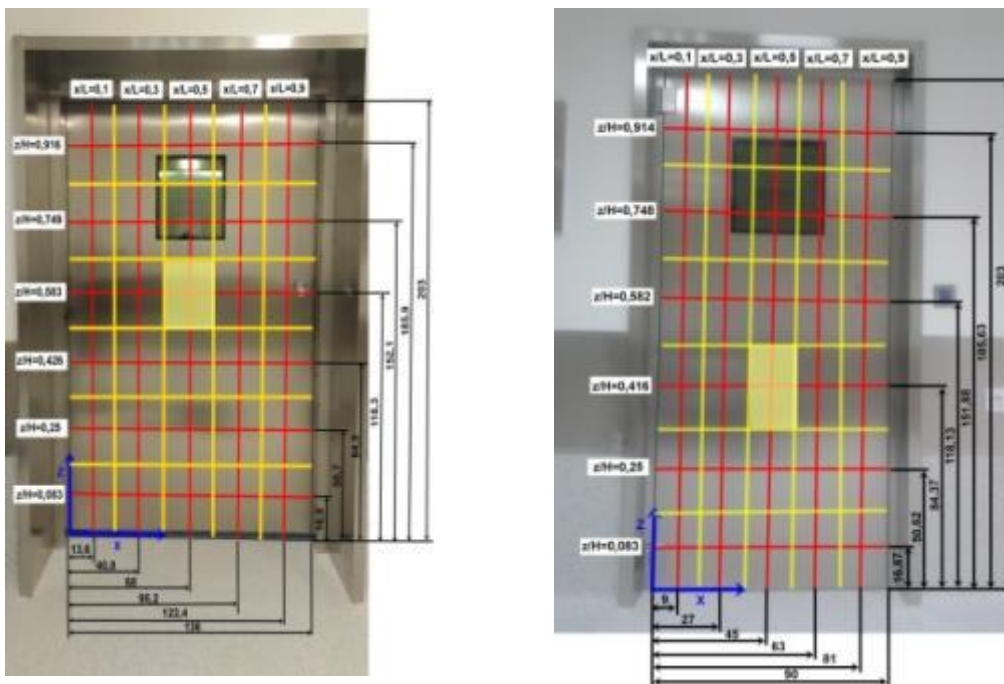


Figura 8: Áreas correspondientes a cada punto para cada puerta

Otra dificultad añadida es el hecho de que el área por la que pasa el aire varía a lo largo de la apertura de puerta para cada punto, no siendo constante en todo el recorrido. Para ello, se calculó el área que se encuentra abierta en cada instante de tiempo sabiendo la longitud de puerta abierta en cada momento.

Como consecuencia de esto, se tiene que el tiempo durante el cual se calcula el caudal de aire a través de la puerta varía en función del punto sobre el que se esté calculando dicho caudal. Esto no es tan evidente para el caso de las puertas batientes, por lo que se optó por tomar el área total asociada a cada punto desde el momento en el que se inicia la apertura.

Teniendo en cuenta todo esto, se calcula el volumen de aire que pasa a través de la puerta en cada intervalo de tiempo, mediante integración numérica utilizando la regla del trapecio, asignando al volumen entrante el signo negativo y al volumen saliente el positivo. Estos volúmenes se suman y se obtiene el volumen total (entrante y/o saliente) que atraviesa la puerta por cada área de ésta. Para conocer la magnitud del dato de volumen entrante o saliente, éste se adimensionaliza con el volumen de aire que debería salir por cada área durante el tiempo de apertura, esto es el caudal impulsado por el tiempo de apertura entre el número de áreas que tiene la puerta (en este caso 30). Para el caso de las puertas correderas este volumen es de 292 litros, para la puerta batiente este volumen es de 302,9 litros en el quirófano turbulento. Los resultados para cada ensayo se muestran en las figura 9.

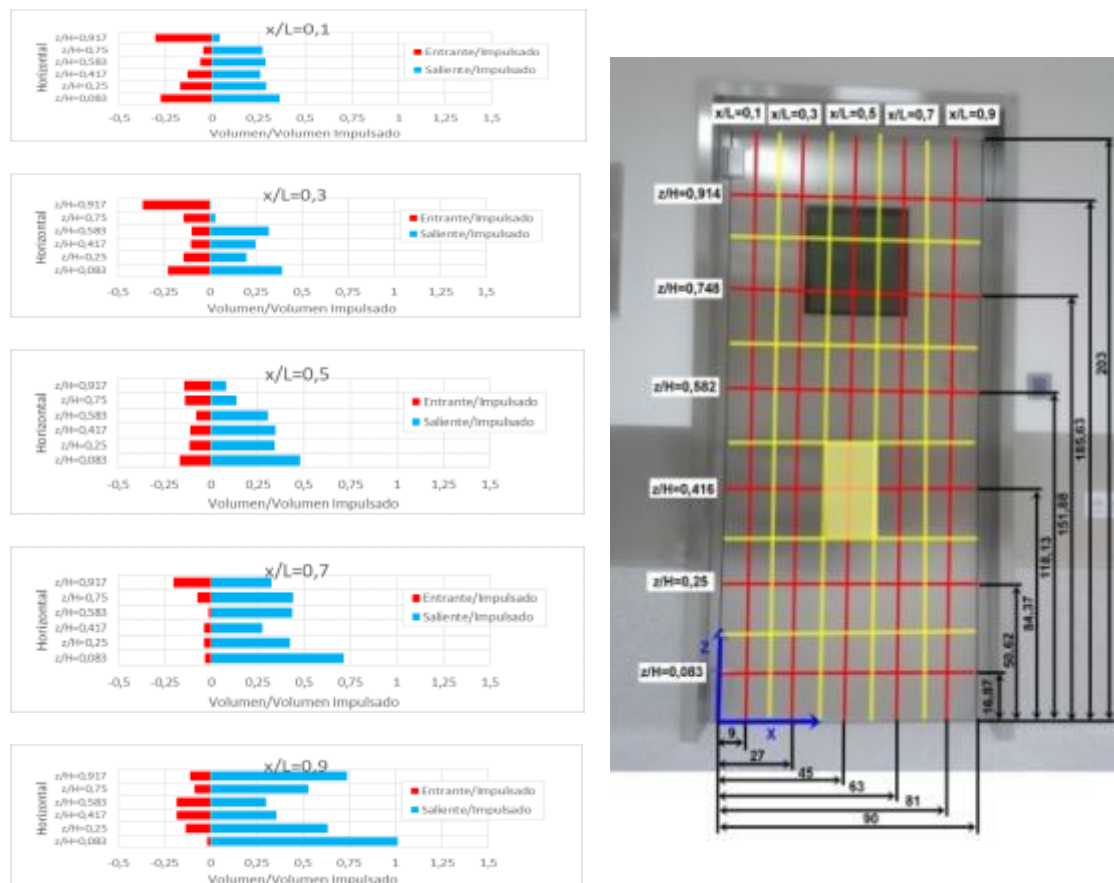


Figura 9: Volumen entrante o saliente correspondiente al quirófano turbulento puerta batiente y consigna de extracción al ω -2

Si todos estos datos se agrupan, se obtiene lo indicado en la Tabla 4. En ella se observa a simple vista que el volumen de aire entrante por las puertas batientes es mucho mayor que para el caso de las puertas correderas.

Tabla 4: Resumen de los volúmenes entrantes y salientes obtenidos para cada ensayo

Quirófano	Puerta	Porcentaje regulación	Volumen (Litros)	
			Entrante	Saliente
Turbulento	Corredera	ω -1	56,55	1752,80
		ω -2	119,25	1835,48
		ω -3	175,14	1215,65
	Batiente	ω -1	1085,58	3896,34
		ω -2	1165,35	3800,17
		ω -3	1203,43	3202,37
Laminar	Corredera	ω -1	236,57	1605,42
		ω -2	129,86	1687,36
		ω -3	258,23	1523,38
	Batiente	ω -1	1010,70	5025,21
		ω -2	932,28	5191,97
		ω -3	1433,55	3231,18

En la figura 10 se han representado en color rojo las áreas en las que existe flujo entrante a los quirófanos para los diferentes ensayos y en las que sólo aparece flujo saliente en color azul. En ellas se observa que para las puertas correderas el flujo entrante aparece en parte superior de éstas, mientras que para las puertas batientes el flujo aparece en prácticamente todas las áreas.

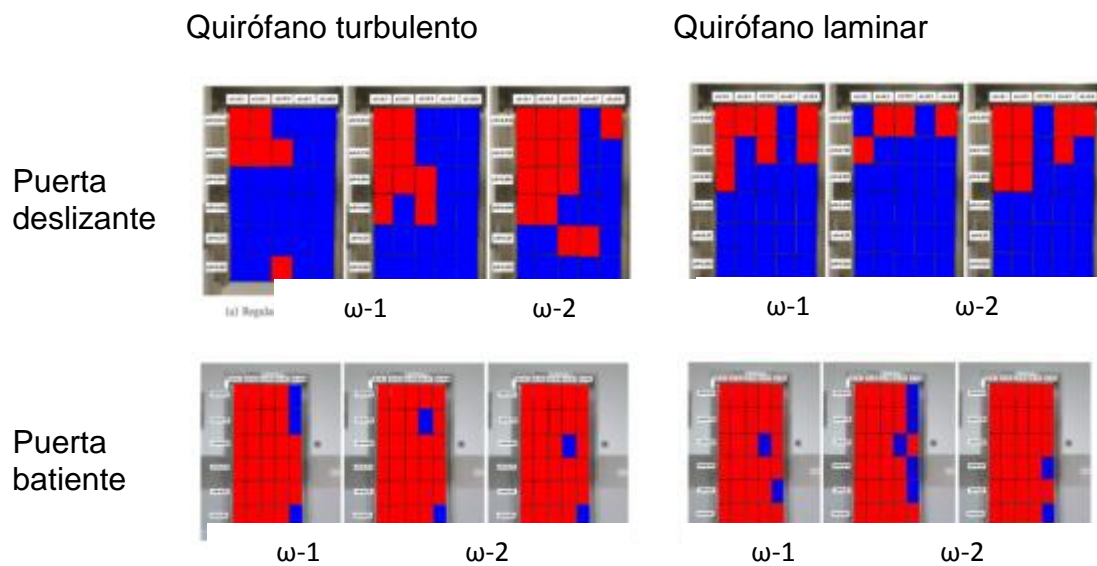


Figura 10: Resumen del volumen de aire entrante y saliente a los quirófanos

La evolución temporal del caudal que atraviesa la puerta, figura 11, muestra claramente una primera etapa durante la apertura de la puerta en la que existe un máximo de caudal entrante y saliente debido al efecto de bombeo provocado por el movimiento de la puerta y una segunda etapa en la que existe un flujo a través de la puerta debido a la inercia del fluido y después provocado por un desequilibrio la extracción del sistema de ventilación.

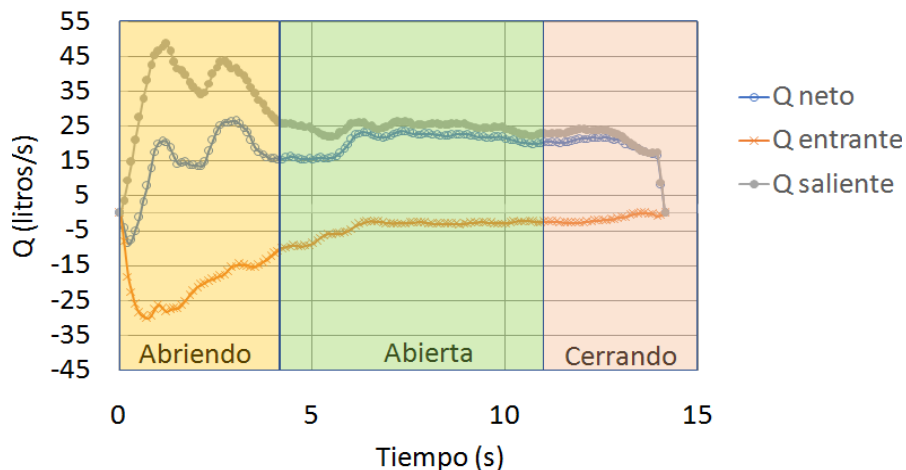


Figura 11: Evolución temporal de los caudales que atraviesan la puerta.

En la figura 12 se muestran los perfiles de velocidad a lo largo de la puerta a una altura del suelo de $Z/H=0.426$. Los perfiles se han agrupado en tres periodos: abriendo, abierta y cerrando puerta. Durante la apertura ($t=1s, 2s$ y $3s$) el perfil se caracteriza por tener velocidades entrantes en la región próxima al eje de giro, y salientes de mayor intensidad en el extremo. Al finalizar la apertura de la puerta ($t= 4s$) cambia la forma de los perfiles apareciendo velocidades entrantes en el

extremo de la puerta. Cuando la puerta está abierta y durante el cierre los perfiles de velocidad son uniformes y velocidades salientes del orden de

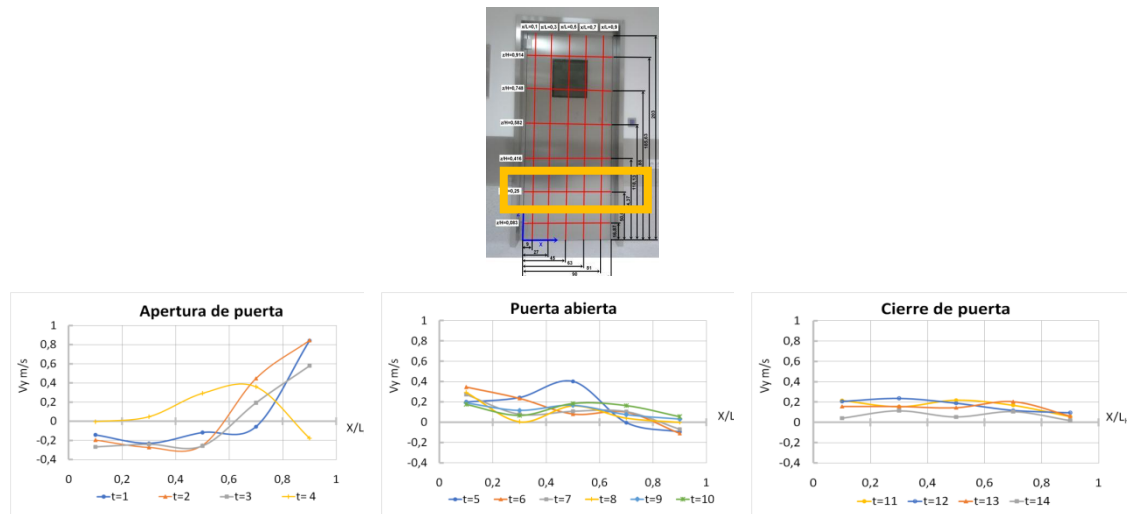


Figura 12: Perfiles de velocidad a lo largo de la puerta a una altura del suelo de $Z/H=0.426$.

Conclusiones

- La técnica de medida basada en la anemometría por ultrasonidos ha permitido el estudio de la contaminación cruzada del quirófano en periodos transitorios. Con esta técnica, se ha medido el flujo a través de la puerta durante su ciclo de apertura y cierre. Esto se ha realizado para puertas batientes y correderas. En el caso de estas últimas se ha estudiado el tránsito de personal.
- En los periodos transitorios, los quirófanos sufren contaminación cruzada de zonas menos limpias (con menores requisitos normativos en cuanto a calidades de aire) lo que puede derivar en la entrada de microorganismos.
- Se ha demostrado que disminuir el caudal de aire extraído durante el ciclo de apertura y cierre disminuye la entrada de aire de otros recintos.
- Los periodos de apertura de puertas son donde se presentan las mayores variaciones de velocidad en el aire que atraviesa la puerta.
- La sobrepresión sólo protege de las infiltraciones al quirófano, cuando las puertas del mismo permanecen cerradas.
- La puerta batiente genera mucho más flujo de aire entrante que la corredera.
- No existe una diferencia clara entre los dos tipos de quirófanos en cuanto a cantidad de aire entrante al abrir la puerta
- La entrada de personal genera mayor flujo de aire entrante, que su salida.