

EJ. San José¹, F. Castro¹, F. Ríos¹, J.M. Villafruela¹ y A. Zarzuelo²

¹Dpto. Ingeniería Energética y Fluidomecánica, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid julsan@eii.uva.es

²Hospital Clínico Universitario, Servicio de Gestión de Infraestructuras, Instalaciones y Centros, Valladolid

Periodo transitorio en un quirófano entre intervenciones

Contaminaciones cruzadas

Los periodos transitorios en los quirófanos son el tiempo transcurrido entre la conclusión de la intervención y la restitución de las condiciones ambientales de asepsia del quirófano para la próxima intervención. Este periodo está caracterizado por la transferencia del paciente, entradas y salidas del personal y equipos, etc. Las labores que se realizan a posteriori de una intervención se agrupan en: labores realizadas por personal sanitario concluida la intervención, labores realizadas por personal de limpieza y labores realizadas por el personal sanitario de comprobación y preparación del quirófano. Concluidas estas labores es necesario respetar el tiempo que el sistema de climatización necesita para recuperar las condiciones ambientales de asepsia en el quirófano.

Durante el periodo transitorio los sistemas de ventilación funcionan fuera de sus especificaciones de diseño y en el quirófano se pueden producir flujos de aire procedentes de locales de menores requerimientos, lo que se denomina contaminaciones cruzadas. Por tanto, durante este periodo el quirófano tiene que hacer frente a contaminaciones cruzadas y polución de objetos y personal que circulan por el área quirúrgica y acceden al quirófano. Por ello, finalizadas las tareas preparatorias en el quirófano es necesario un periodo de recuperación para recuperar las condiciones de asepsia del recinto. El periodo transitorio conlleva una posible contaminación del quirófano y la disminución del tiempo de disponibilidad de este.

Este artículo recoge los estudios realizados en un área quirúrgica con el objetivo de caracterizar los periodos transitorios. Para ello se ha analizado y caracterizado las instalaciones de ventilación del área quirúrgica, se han medido sus parámetros de funcionamiento (caudal de aire aportado y extraído, sobrepresiones y partículas). Se ha comprobado el cumplimiento de la norma UNE 171340:2012 "Validación y cualificación de salas de ambiente controlado en hospitales". Se han realizado medidas sobre transferencia de aire entre recintos en los



Figura 1: Planta de quirófanos del HCUV.

procesos de apertura/cierre de puertas, para ello se ha marcado el aire de un recinto con un gas trazador. R134a y se ha determinado su concentración en otros locales mediante la técnica de espectrometría fotoacústica. Se han realizado medidas de velocidad del aire con un equipo de anemometría de ultrasonidos 3D en las puertas durante su apertura/cierre. Los resultados han sido analizados y se han evaluado unos tiempos de restitución.

Descripción de las instalaciones del bloque quirúrgico

La nueva área quirúrgica del HCUVa cuenta con dieciocho quirófanos de dos tipos, tipo A y tipo B [UNE 100713:2005]. Los quirófanos se agrupan en grupos de cuatro y grupos de dos (existiendo tres grupos de cuatro y tres grupos de dos). Cada grupo cuenta con un pasillo de entrada que es común a todos los quirófa-

nos, desde el pasillo se accede: a cada quirófano de forma independiente, a la sala de preparación del personal (que comparten cada dos quirófanos, y desde donde también se accede a los dos quirófanos a los que da servicio) y a la zona de sucio. En la figura 1 se puede ver la planta de una zona del área quirúrgica.

El estudio ha analizado uno de los bloques quirúrgicos formados por cuatro quirófanos, tres quirófanos de tipo B (quirófanos de difusión por flujo turbulento) y un quirófano tipo A (quirófano de desplazamiento por flujo laminar). Estos quirófanos son los que aparecen en la figura 1 recuadrados en verde.

Descripción de los sistemas de ventilación quirófanos.

Aspectos importantes en la calidad de aire de un quirófano son la ubicación de las rejillas de extracción y de impulsión así como el sistema de regulación que permite mantener en sobrepresión el quirófano con respecto a las salas anexas.

Las rejillas de extracción son las encargadas de extraer el aire del quirófano hacia el exterior. Los cuatro quirófanos tienen el mismo sistema de extracción consistente en: cuatro rejillas ubicadas en la parte inferior (380 x 105 mm) y cuatro rejillas ubicadas en la parte superior (180 x 105 mm). Las rejillas están colocadas en la pared de la puerta de entrada y en su opuesta.

La impulsión en los quirófanos se diferencia dependiendo del tipo de quirófano A o B. En los quirófanos tipo B el aire es difundido por cuatro difusores rotacionales, colocados en el techo. En el tipo A mediante un difusor unidireccional colo-

meración para las rejillas de extracción, pero no para las de impulsión, ya que no dispone de difusores rotacionales.

meración para las rejillas de extracción, pero no para las de impulsión, ya que no dispone de difusores rotacionales.

meración para las rejillas de extracción, pero no para las de impulsión, ya que no dispone de difusores rotacionales.

Tabla 1 Valores de sobrepresiones y caudales de los quirófanos 10 y 12, medidos con los equipos: KIMO Multifunción AMI 300 STD y con el anemómetro Accubalance modelo 8375 de la casa TSI.

Caracterización de los quirófanos.

Las medidas realizadas en los quirófanos han sido el caudal en las impulsiones y extracciones y la sobrepresiones respecto con del pasillo de acceso. La nomenclatura usada para identificar cada rejilla de impulsión y extracción se muestra en la figura 2. Para el quirófano 10 (tipo A) se continuó manteniendo la nu-

Estudio de transitorios.

En este apartado se describen los ensayos realizados para analizar la influencia que pueden tener la apertura/cierre de puertas en el quirófano durante el periodo transitorio. Para ello primero se realizaron medidas con gases trazadores y luego

	QUIRÓFANO 10		QUIRÓFANO 12	
SOBREPRESIÓN (Pa)	17		13.5	
Renovaciones (1/h)	20.54		24.44	
IMPULSIÓN (m³/h)	REJILLA	11/12/2014	REJILLA	11/12/2014
	1	2773.5	1	1036
	-	-	2	752
	-	-	3	787
EXTRACCIÓN (m³/h)	-	-	4	877
	1A	103	1A	152
	1B	124	1B	172
	2A	131	2A	120
	2B	147	2B	119
	3A	150	3A	101
	3B	177	3B	112
	4A	90	4A	182
4B	108	4B	188	

Tabla1: Caracterización de los quirófanos 10(tipo A) y 12(tipo B)

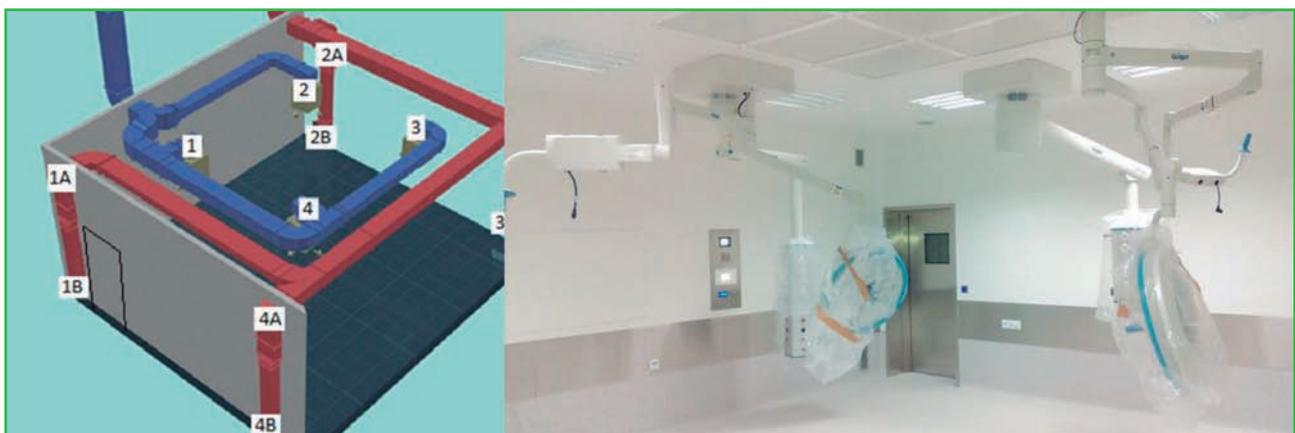


Figura 2: Ubicación de las rejillas de extracción e impulsión en quirófano. Figura izquierda tipo B. Figura derecha tipo A

para caracterizar con más detalle los flujos contaminantes cruzados se realizaron medidas de velocidad.

Medidas realizadas con gases trazadores

Para el análisis con gases trazadores se usó el Photoacoustic Field Gas-Monitor INNOVA 1412 así como el INNOVA 1303 Multi-pointSampler and Doser (dosificador y receptor de los gases trazadores).

El objetivo era determinar si se producía la entrada de aire procedente del pasillo al quirófono durante la apertura/cierre de la puerta de acceso. Para ello se sembró gas trazador en el pasillo hasta conseguir una concentración de 40 ppm, a continuación se procedía a abrir la puerta. En un ensayo consecutivamente 10 veces y en otro primero se abría una vez, luego cinco veces, y por último diez veces.

Se colocaron seis puntos de medida del gas trazador, dos de ellos debajo de los difusores rotacionales del pasillo y los otros cuatro se colocaron en cada uno de los quirófanos que había en el bloque quirúrgico. La colocación de los puntos de medida en los quirófanos fue bajo el marco de la puerta en el interior del quirófono, aproximadamente en el medio. En la figura 3 se puede ver el montaje del equipo en el pasillo de acceso quirófanos y el sensor en el acceso al quirófono. Los resultados obtenidos de un ensayo se presentan en la figura 4, donde se recogen los valores de gas trazador en el interior del quirófono, cuando se mantiene en el pasillo una concentración de gas trazador de 45 ppm.



Figura 3: montaje de la técnica de gases trazadores en el bloque quirúrgico a estudio.

En la figura 4 se muestran los resultados del ensayo de 10 apertura/cierres consecutivos de la puerta del quirófono

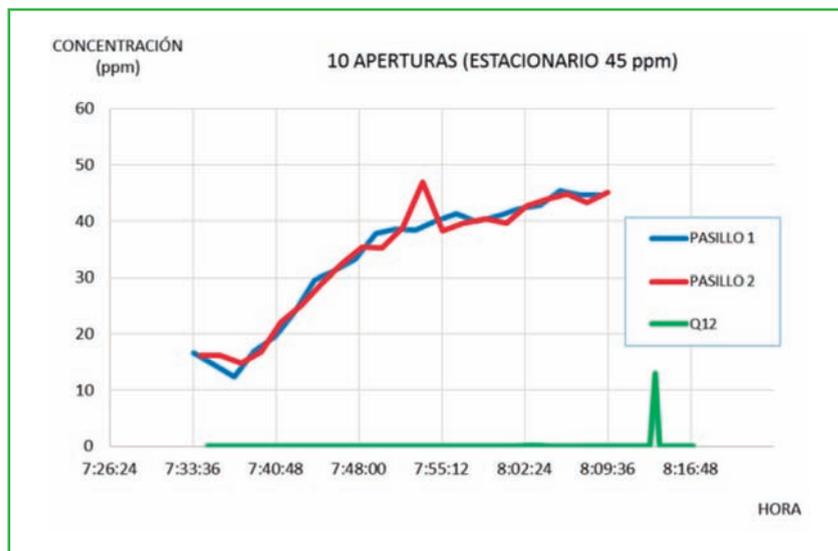


Figura 4: Resultados de un ensayo con 45 ppm de gas trazador

12. Se observa una pequeña entrada de gas en el dicho quirófono. La primera apertura tiene lugar a las 08:13:17 y la última apertura tiene lugar a las 08:15:47.

Del análisis de los resultados se deduce que hay una ligera entrada de contaminante del pasillo hacia el quirófono. Además, visualizaciones realizadas con humo indicaban que durante la apertura/cierre el flujo generado en hueco de la puerta era complejo. Por ello y dada las limitaciones en la frecuencia de muestreo del analizador de gases trazadores, se decidió emplear el anemómetro de ultrasonidos cuya frecuencia de muestreo es mucho mayor

Medida con anemometría por ultrasonidos

La medida de velocidad del aire se ha realizado con un anemómetro de ultrasonidos 3D modelo WA-590 de Kaijo Sonic Corporation, figura 5 izquierda. En el hueco de la puerta se definieron veinticuatro puntos de medida. Agrupados en cuatro líneas verticales, y seis horizontales. Tomando como origen de coordenada la esquina inferior izquierda de la puerta mirando desde dentro del quirófono, figura 5. Se han realizado tres ensayos en el quirófono 10(tipo A):

► Ensayo 1: se pretende comprobar la repetitividad en el flujo de aire que tiene lugar cuando se produce una apertura/cierre de la puerta del quirófono.

► Ensayo 2: se midió en 24 puntos de la puerta de acceso, figura 5, la variación temporal del vector velocidad durante 90 segundos, que incluía una apertura/cierre de puerta.

► Ensayo 3: se determinó cómo varía el flujo del aire cuando durante el proceso de apertura/cierre una persona se desplazaba del interior al exterior del quirófono y viceversa. Este ensayo para cada punto se realizó para dos entradas y dos salidas de persona. Sólo se realizaron medidas para las verticales Z=138 cm y Z=80 cm, ya que era las únicas posiciones en las que se podía colocar el anemómetro y había posibilidad de paso de una persona.



Fig. 5: Montaje del sistema de medida en el quirófono nº 10 y situación de los puntos de medida.

Un ejemplo de los resultados obtenidos en el ensayo 2 se presenta en la figura 6, en ella se muestran la evolución temporal de las tres componentes de la velocidad en un punto. También se indica el grado de apertura de la puerta.

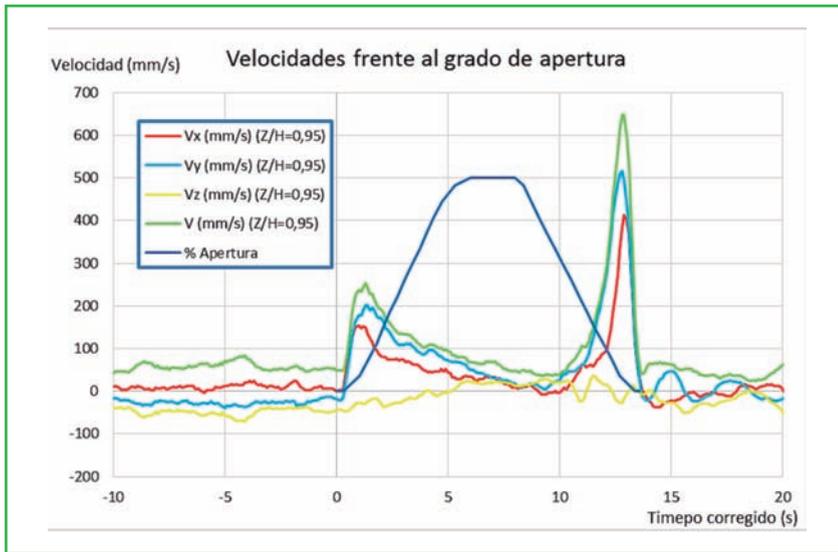


Fig. 6: Variación temporal de las componentes de la velocidad y el grado de apertura.

Las medidas de velocidad muestran que durante el proceso de apertura/cierre de la puerta existen puntos en los cuales los valores de la componente Vy de la velocidad se hacen negativos, lo que indica que hay un flujo entrante del pasillo hacia el quirófano. Para evaluar la magnitud de estos flujos se va a realizar un mapa de las zonas del hueco de la puerta por donde entra y por donde sale aire del quirófano. Para ello se delimita unas áreas adyacentes al punto de medida del anemómetro, en amarillo en la figura 7. En ellas se supone que la velocidad coincide con la del punto de medida.



Figura 7: Áreas en las que se divide la puerta.

La metodología seguida para calcular los volúmenes de aire que entran o salen en cada apertura es la siguiente: se mul-

tiplica las velocidades instantáneas por el tiempo de muestreo, figura 8, donde se puede observar las áreas correspondientes con la entrada o salida de aire (el aire entrante es el área roja y el azul es el aire saliente).

Si esta área se multiplica por el área de paso adyacente para cada uno de los puntos de medida del experimento, se obtienen los m³ de aire que se mueven en cada apertura/cierre. Para estimar el flujo neto de aire entrante y saliente, se suman los resultados

En la figura 9 se presentan el resultado de estos cálculos, donde se podrá apreciar las zonas de entrada o de salida de aire en la puerta en cada uno de los puntos de medida.

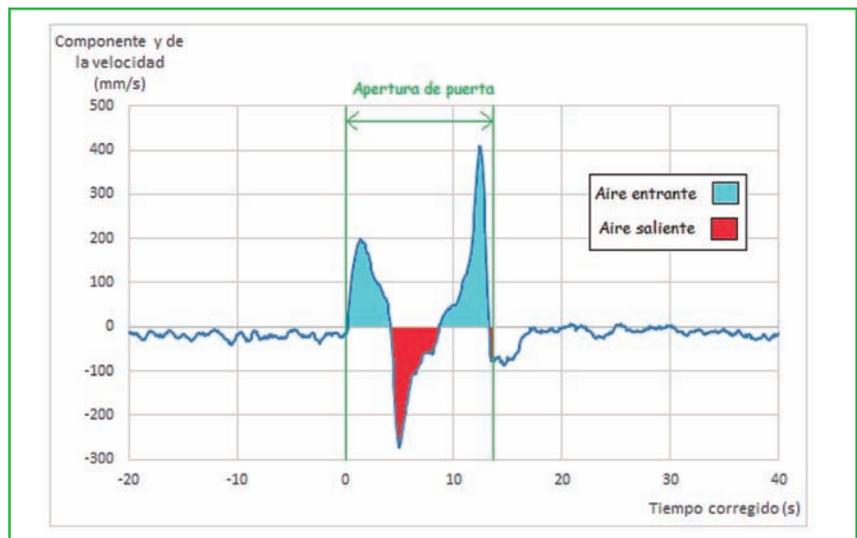


Figura 8: Evolución temporal de Vy.

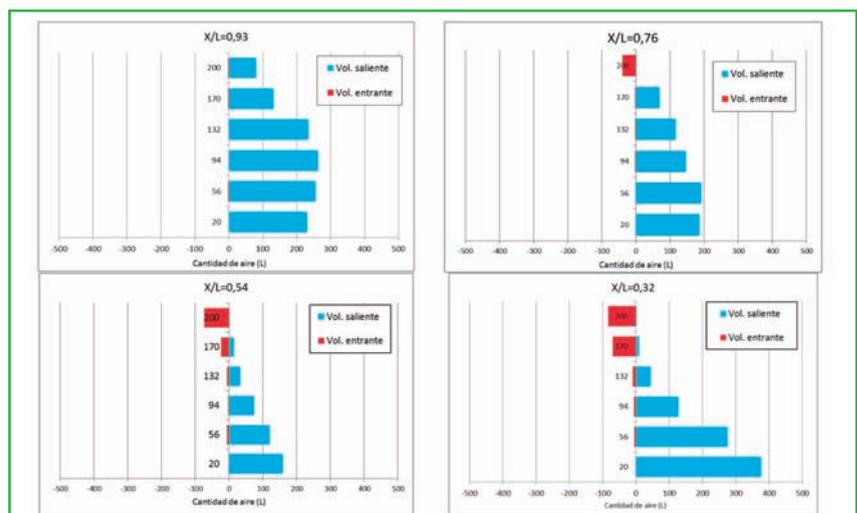


Figura 9: Volumen de aire transferido por la apertura/cierre de la puerta

Existe una tendencia en el movimiento del aire, y es que la zona superior es una zona de entrada de aire, mientras que la zona inferior es la zona por donde sale aire del quirófano. En la figura 10 sobre el hueco de la puerta, visto desde el interior del quirófano, se observan las zonas de entrada de aire.

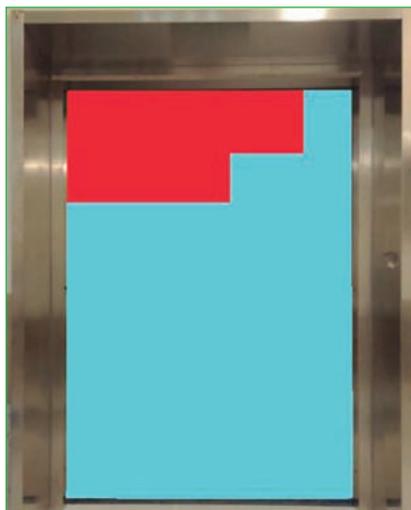


Figura 10: Zonas de entrada y salida del aire.

En el siguiente análisis, correspondiente al ensayo 3, se han realizado las medidas con el movimiento de una persona entrando o saliendo del quirófano durante el proceso de apertura/cierre de la puerta.

Realizando un análisis semejante, se observa que la entrada de una persona al quirófano conlleva mayores flujos entrantes de aire que la apertura/cierre de puertas sin entrada de personal. En el caso de

la salida no se aprecian diferencias sustanciales con la simple apertura/cierre de puertas.

En la figura 11 se representan las zonas de entrada y salida de aire durante la apertura/cierre cuando entra (figura izquierda) y cuando sale (figura derecha) una persona al quirófano.

Cuando una persona entra, el flujo entrante de aire se encuentra en la zona central, debido probablemente a la estela que genera la persona. Mientras que cuando la persona sale, el flujo entrante de aire se sitúa en la zona superior de la puerta. Cabe recordar que en el ensayo que se hizo sin atravesar una persona la puerta durante su apertura/cierre, las zonas conflictivas eran las zonas superiores de la puerta, sobre todo en las verticales más próximas al extremo de apertura completa de la puerta.

Conclusiones

Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto que existe entrada de flujos de aire durante estos periodos de apertura/cierre de puertas, sobre todo por las zonas más altas de la puerta, las más cercanas al marco superior, efecto indeseable, ya que la entrada de posibles contaminantes al interior podría ser causa de infecciones nosocomiales.

Con la técnica de gases trazadores se realizaron diversos ensayos, una serie de aperturas consecutivas de la puerta del quirófano. Se alcanzó una concentración de 45 ppm en el pasillo, no obteniéndose ningún pico de concentración con una única apertura/cierre,

0,9 ppm cuando se realizaron 5 apertura/cierre consecutivas y 12,98 ppm cuando se realizaron 10 apertura/cierre seguidas.

El ensayo en el que se ha caracterizado el flujo en la puerta del del quirófano, midiéndose en 24 posiciones ha puesto de manifiesto que este flujo no es completamente saliente del quirófano al pasillo. Se estima un total de 3472,8 litros de aire lo que se transfiere a través de la puerta; de estos 3146,2 l (el 90,6 %) es saliente, mientras que 326,62 l (el 9,4%) es entrante.

En el ensayo cuando existía el movimiento de una persona, los resultados se obtuvieron únicamente para dos de las líneas verticales. En este experimento hubo dos casos diferenciados, el caso en el que la persona realizaba una entrada desde el pasillo hacia el quirófano y el caso en el que la persona salía desde el quirófano hacia el pasillo. Cuando se producía un movimiento de salida de persona desde el quirófano, la cantidad de aire saliente del quirófano era de 1821,86 l (90,3%) y la cantidad de aire entrante era de 195,4 l (9,7%). En el caso en el que el movimiento de la persona era del pasillo hacia el quirófano, la cantidad de aire saliente era 1721,2 l (81,3%) mientras que la cantidad de aire entrante era 396,8 l (el 18,7%). (Realizado dentro del proyecto de la J.C. y L. BIO/VA10/14)

Referencias

- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). (2005) Norma UNE 100713:2005 "Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales". (2012) Norma UNE 171340:2012 "Verificación y cualificación de salas de ambiente controlado en hospitales".
- ANDERSSON BM, LIDGREN L, SCHALEN C, STEEN A: Contamination of irrigation solutions in an operating theatre. *Infect Control*. 1984; 5(7):339-341.
- CASTRO RUIZ, F., SAN JOSÉ ALONSO, J.F., VILLAFRUELA ESPINA, J.M., GUIJARRO RUBIO, A. (2011). *Manual de diseño de la climatización y ventilación de quirófanos y habitaciones en centros hospitalarios de Castilla y León*. Valladolid.
- J., VILLAFRUELA ESPINA CASTRO RUIZ, F., SAN JOSÉ ALONSO, J.M., Saint-Martin, J. (2013). "Comparison of air change efficiency, contaminant removal effectiveness and infection risk as IAQ indices in isolation rooms" *Energy and Buildings*. 57, 210–219.
- CHOW, T.T.; YANG, X. Yu. (2003). *Performance of Ventilation System in a non-Standard Operating Room*. *Building and Environment* 38, 1401–1411.
- INNOVA Gas Products Sales & Service. LumaSense Technologies A/S (2014). *Highly Accurate, Reliable, Stable, Quantitative and Remote Controllable. Gas Monitoring System*. INNOVA 1412.). *Reliable, easy-to-use multi-point sampler and Doser*. INNOVA 1303.
- KAIJO SONIC CORPORATION. WA-590 Microsonic clean room use 3 dimensional anemometer.
- KIMO INSTRUMENTS. *Technical data sheet. Air flow cones* (2010). www.kimo.fr.
- TRUST. SCIENCE. INNOVATION. (TSI). (2007). *Ventilation Test Instruments*. ACCUBALANCE Capture Hood. Model 8375.

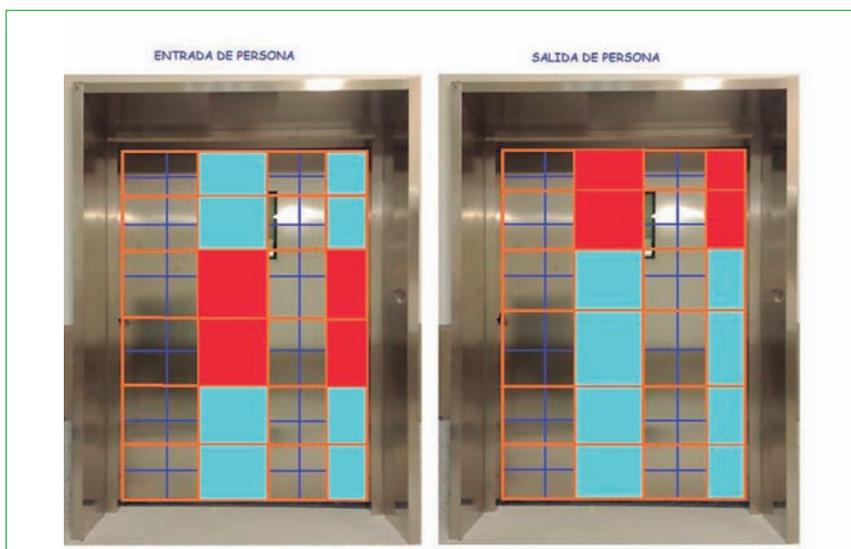


Figura 11: Zonas de entrada y salida de aire con el movimientos de una persona.