

Optimización de la distribución de aire en laboratorios de bioseguridad mediante simulación fluidodinámica (CFD)

En los laboratorios de investigación, y también de producción farmacéutica, es esencial el mantenimiento de las adecuadas condiciones ambientales en las salas críticas de los mismos.

ALBERT ARTÚS
HVAC & ENERGY ENGINEER
EN JG INGENIEROS S.A

GIL VINYETA
PHD, INDUSTRIAL ENGINEER, DIRECTOR
OF INNOVATION EN JG INGENIEROS S.A

Las salas críticas son aquellas donde los procesos que se llevan a cabo están sometidos a unas condiciones muy estrictas de estabilidad ambiental, o donde los procesos que se realizan son de alto riesgo para la salud si se produjera algún incidente en la sala.

Las condiciones ambientales de estas salas son las que definen los diferentes parámetros de confort e higiene: condiciones de temperatura y humedad relativa, concentración máxima de contaminantes físicos o químicos, velocidades y diferencias de presión en el aire, edad del aire, uniformidad y estabilidad de esas condiciones en el tiempo.

El mantenimiento de estas condiciones interiores en niveles adecuados es uno de los mayores gastos operativos para los laboratorios: se incluye aquí el consumo energético de los sistemas, el coste de reposición de filtros de aire y otros consumibles, el coste de limpieza y descontaminación de espacios ante una avería o incidente, el lucro cesante que se da por operaciones de mantenimiento o reparaciones cuando, el laboratorio no puede estar en funcionamiento.

Para garantizar el funcionamiento adecuado de un laboratorio en correctas condiciones al menor coste operativo posible se considera relevante llevar a cabo una investigación que analice, mediante herramientas de simulación computacional fluidodinámica (CFD) el sistema de distribución del aire en el interior ya que muchos de los patógenos estudiados se contagian a través de aerosoles.

Seguramente, esta herramienta de simulación debe ser incorporada en los procesos de diseño de instalaciones tan críticas.

El mantenimiento de las condiciones interiores en niveles adecuados es uno de los mayores gastos operativos para los laboratorios

Análisis a llevar a cabo según tipología de espacios

En laboratorios de bioseguridad existen diferentes tipos de espacios con múltiples singularidades, siendo los laboratorios *In-vitro*, animalarios (laboratorios *In-vivo*) y salas de necropsia, algunos de los más representativos. La actividad en cada uno de ellos es totalmente distinta y, por consiguiente, la distribución interior del equipamiento es singular en los tres casos. El estudio fluidodinámico mediante herramientas de simulación CFD puede ser definitivamente útil para el diseño del sistema de climatización:

Los **laboratorios** precisan distintos puestos de trabajo, múltiples equipos disipadores de calor y cabinas de seguridad biológica que recirculan el aire sobre el ambiente. Por consiguiente, la densidad de carga de estos espacios es elevada y la distribución interior puede contener muchos obstáculos que dificultan la distribución del aire.

Estudiar si la distribución de aire en estos espacios debe ser por mezcla o laminar tiene especial relevancia para evitar zonas muertas entre el equipamiento y también para asegurar que las cabinas de bioseguridad no tengan turbulencias que puedan inducir aire desde el interior hacia el exterior, rompiendo la primera barrera de contención. Los gradientes de temperatura de estos espacios

también pueden ser considerables al tener que compensar las cargas térmicas.

En los **animalarios**, en cambio, no hay mucha densidad de equipamiento y normalmente suelen haber escasas cabinas de bioseguridad ya que solamente se utilizan para hacer el seguimiento de animales de tamaño reducido. La ocupación, eso sí, es permanente y se debe considerar el calor sensible y latente de los animales.

En estos espacios, consecuentemente, no habrá grandes gradientes de temperatura, pero la difusión debe ser detenidamente estudiada para evitar velocidades de aire sobre los animales, ruido a las frecuencias sensibles de cada especie y temperaturas de confort homogéneas. Además, la temperatura y humedad del aire puede variar considerablemente según la especie que se vaya a estudiar y la difusión debe adaptarse a todas ellas. La transmisión de aerosoles de los animales en estos espacios es considerable y, por este motivo, es importante conocer los patrones del aire en su interior.

Las **salas de necropsia** acostumbran a ser los espacios más sucios del laboratorio. No son espacios con una gran densificación de equipos, pero sí pueden contener una mesa de necropsias para animales de tamaño considerable y una cabina de clase II y tipo B2. Ambos equipos pueden necesitar una extracción conducida hacia el exterior de un caudal de aire muy considerable que tiene fuertes afectaciones en la difusión del aire interior.

En estos espacios también es necesario estudiar el comportamiento del aire, pero desde una perspectiva diferente. Las cargas asociadas son reducidas y la temperatura ambiente no es un parámetro crítico. Quizás el estudio de esta tipología de espacios se basa en tener un control del flujo de aire desde la parte más limpia de la sala hasta la más sucia. Una buena distribución de aire puede favorecer la contención del espacio más sucio de todo el edificio.

Además de los parámetros comentados anteriormente para cada una de las tipologías de recinto, hay un indicador muy importante para tener en cuenta para el análisis de la difusión en los laboratorios de bioseguridad: la edad del aire. Este parámetro mide el tiempo que reside el aire dentro del espacio hasta que es extraído. Una edad del aire reducida ayuda a eliminar los patógenos de manera inmediata, reduciendo el riesgo de contaminación de los usuarios.

Por último, y no menos importante, es conveniente estudiar, también mediante CFD, el comportamiento del sistema de difusión planteado en cada espacio cuando se está utilizando el mismo sistema para su descontaminación. Las condiciones de caudales impulsados, temperatura de impulsión y humedad, variarán considerablemente para conseguir la concentración de agente desinfectante que se requiere para la descontaminación del recinto.

La importancia de la extracción

Siguiendo lo comentado anteriormente, simular el comportamiento del aire en el interior de los espacios mediante herramientas de análisis fluidodinámico permite hacer pruebas en la ubicación y de entradas y salidas de aire. A modo de ejemplo de una posible utilidad se muestran los resultados de un análisis con la posición de la extracción para el caso de un animalario.

A menudo, se sitúa la extracción a pocos centímetros del suelo y esto puede representar serios problemas en el diseño constructivo y en la operación de la instalación. Para estudiar cuál es la mejor solución en este espacio, se llevaron a cabo dos modelos CFD, como los de la imagen 1, con una reja de extracción superior y otra en la parte inferior. Este estudio fue realizado junto con la empresa TROX España. En concreto, TROX diseñó un difusor a medida para satisfacer los requerimientos técnicos de este laboratorio:

El resultado de la imagen 2 muestra que la edad del aire con la extracción superior es significativamente menor a la extracción por la pared.

La imagen 3 también muestra como la uniformidad de temperaturas también es ligeramente mejor y más cercana a la consigna con el retorno en la parte superior.

Esta distribución interior mostrada anteriormente, para el caso de un animalario, es fruto de la baja carga térmica que tiene el espacio. Si la extracción se ubicara en la parte

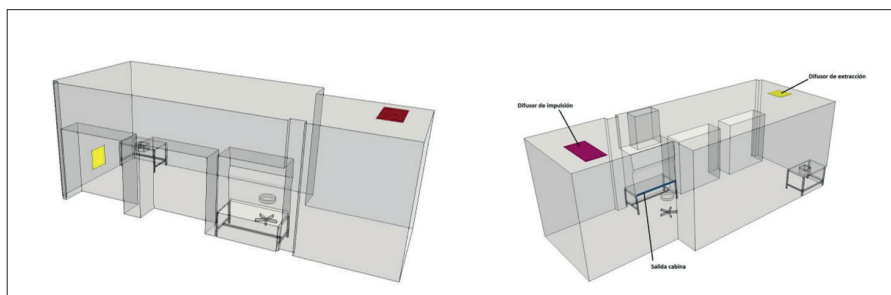


Imagen 1: En la izquierda: Extracción a nivel suelo por la pared opuesta / En la derecha: Extracción por la parte superior del espacio de forma opuesta (Modelo CFD efectuado por TROX España).

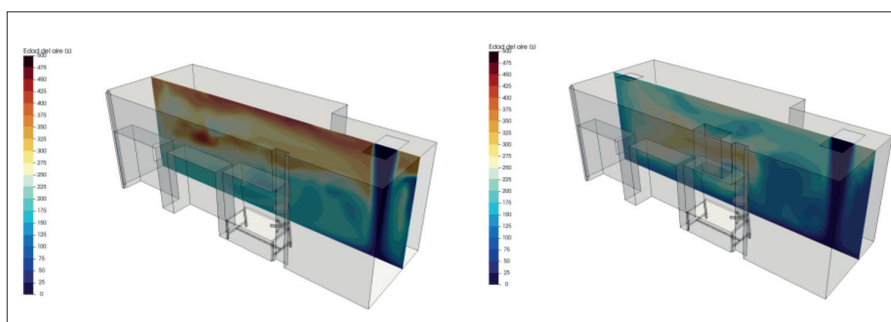


Imagen 2: En la izquierda: Edad del aire con la extracción inferior / En la derecha: Edad del aire con la extracción en el techo (Modelo CFD efectuado por TROX España).

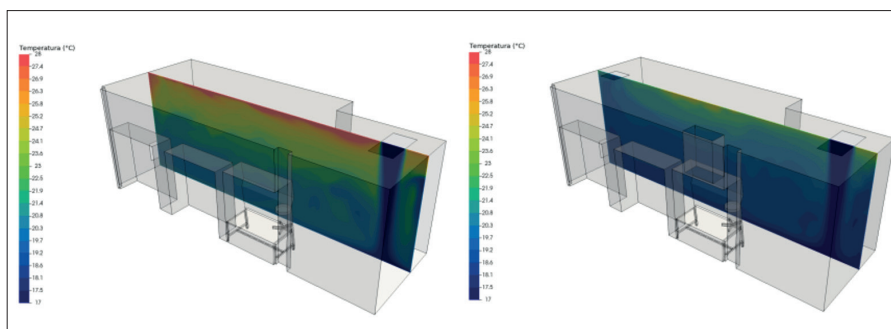


Imagen 3: En la izquierda: Temperatura con la extracción inferior / En la derecha: Temperatura con la extracción en el techo (Modelo CFD efectuado por TROX España).

En espacios de alta criticidad, puede ser muy conveniente el uso de herramientas CFD para validar u optimizar el diseño de éstos

baja de la pared y al tener una impulsión laminar, el aire impulsado no llega a subir a cotas altas del espacio y se extrae directamente, creando bolsas de aire no renovado en la parte superior opuesta. Es decir, se puede concluir que, para esta sala en concreto, bajo esta actividad y con una difusión laminar, es más favorable tener una extracción superior en techo que inferior en pared.

Conclusiones

En espacios de alta criticidad, puede ser muy conveniente el uso de herramientas CFD para validar u optimizar el diseño de éstos. Las diferentes tipologías de espacio pueden tener requerimientos y condicionantes distintos y cada caso requiere una solución a medida. Esto se ha podido mostrar en el ejemplo de estudio de la extracción de aire en un animalario.

Futuras líneas de investigación

A través de la Cátedra UPC-JG se está impulsando un proyecto de investigación con diversos colaboradores de referencia en el ámbito de los laboratorios de bioseguridad que se centrará en la simulación y contraste mediante validación in-situ de diferentes soluciones de difusión con el fin de optimizar el proceso de diseño y los costes de inversión y explotación ●