

OPTIMIZACIÓN DE LA VENTILACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE CONTAGIOS

Introducción

Un análisis y adaptación de las condiciones de ventilación y climatización es una condición necesaria para garantizar que un espacio cerrado ocupado por personas no implica un riesgo para éstas en su permanencia o tránsito.

Las normas sobre ventilación establecen unos mínimos requisitos a cumplir, pero teniendo en cuenta diferentes circunstancias, se ha de considerar la necesidad de incrementar todo lo posible los parámetros de funcionamiento asociados a un incremento de la renovación del aire y a la mejora de las condiciones generales. Existe una unanimidad a nivel científico y técnico sobre que el interior de los recintos favorece los contagios y en esas condiciones es donde se dan la gran mayoría de éstos. Es decir que respirar aire contaminado es la fundamental vía de contagio. Una eliminación de los microorganismos que puedan estar presentes en el ambiente se ha de optimizar evacuando lo antes posible las partículas que pueden generar un contagio.

Algunas indicaciones o recomendaciones no pueden implementarse sino es en la fase de diseño de una instalación, en ese caso se deben tener en cuenta para priorizar posibles reformas. En otros casos las recomendaciones van dirigidas a un modo de funcionamiento o opciones disponibles con la instalación

Objeto de los sistemas de ventilación

Se relacionan las funciones de los sistemas de climatización que tienen fuerte relación con la dispersión o distribución de la carga de microorganismos infecciosos que puedan emitirse en un recinto:

- Renovación de aire. Intercambio con el exterior del aire para evacuar aire viciado o contaminado por la actividad realizada dentro del recinto. La renovación permite además de eliminar contaminantes, controlar olores y otros parámetros de confort.
- Filtrado de partículas. Tanto el aire exterior como el interior debe filtrarse para evitar presencia de partículas. También es posible eliminar olores con filtros especiales.
- Acondicionamiento del aire. Adecuación de las condiciones térmicas y de humedad a la necesidad de las personas o actividades que se desarrollan.

Tipos de sistemas de ventilación

Fundamentalmente dos:

- Sistemas cerrados con un sistema específico para aportar aire climatizado
- Sistema en el que la aportación del aire del exterior se realiza mediante aberturas, ventanas puertas.

Mejoras de los sistemas para incrementar la protección de los ocupantes

Los sistemas de climatización, centralizados o individuales, se diseñarán para controlar el ambiente interior desde el punto de vista termo-higrométrico: Ventilación, Calentamiento, Refrigeración, Humidificación y Deshumidificación.

- **Sistemas de ventilación centralizados**

Un sistema de ventilación centralizado es una instalación de climatización constituida por un aparato central (unidad Técnica de tratamiento de aire) que abastece mediante conductos a determinadas zonas o todo el edificio.

- **Sistema de ventilación local**

Un sistema de ventilación local es una instalación de climatización constituida normalmente por dos equipos, uno interior otro exterior (en algunos equipos pequeños el exterior no existe), que mediante un fluido calientan o enfrían un flujo de aire movido mecánicamente. Pueden existir algunos equipos que si utilizan aire del exterior. Los equipos interiores se denominan ventiloconvector o fan coil.

Recomendaciones:

1. Incrementar la renovación del aire y la extracción

Si el sistema permite impulsar aire limpio del exterior, se busca aumentar la renovación mediante:

- Mantener el funcionamiento de los sistemas de ventilación dos horas antes y después de la apertura del centro o la ocupación de recintos.

Explicación: El tiempo debe ir en consonancia con las renovaciones de aire que permite la instalación. En la tabla 4, para 2 renovaciones por hora, en 2 h estaríamos muy cerca de eliminar el 99% de las partículas en suspensión.

- Si el sistema controla el nivel de CO₂, debe programarse para no superar los 400 ppm, para garantizar una operación a velocidad nominal.

Explicación: Una concentración baja de CO₂ exige una alta renovación del aire. En la tabla 3, si se mantiene un valor de 350 ppm en el aire de extracción de un recinto, se considera que el aire interior tiene una calidad INT1 / IDA1.

- Si puede mantener en un régimen de funcionamiento mínimo evitar que se desconecte del todo aún durante el tiempo en el que no hay ocupación de personas, a la menor velocidad.

Explicación: esta recomendación evitaría la decantación de las partículas que puedan quedar en suspensión. Y una velocidad baja evitaría la dispersión. Esta recomendación es más fácil de cumplir cuando no implique un gasto energético importante o que penalice.

- Maximizar el aire nuevo aportado por el sistema y reducir al máximo la recirculación.

Explicación: La clave principal es la cantidad de aire exterior aportado por persona. Si en la medida de diseño, el número de empleados se reduce por lugar de trabajo, será menos costoso lograr una adecuada renovación del aire en el recinto, y su eficacia de limpieza de partículas en suspensión será más fácil de lograr.

En baños y aseos que dispongan de sistema de ventilación forzado (tipo shunt), se debe mantener una renovación continua, si es posible 24 h los 7 días de la semana.

Explicación: La finalidad del sistema shunt es evitar malos olores y renovación de aire. Al extraer aire del aseo, logra una presión negativa que evita una dispersión del aire al exterior. Si se abren las ventanas de los aseos para ventilar, es posible que esa presión negativa no se pueda conseguir.

2. Uso de la ventilación natural (ventanas)

En lugares de trabajo donde no existe sistemas de renovación de aire, o la renovación no se considera suficiente.

- Se recomienda realizar una ventilación natural, de unos 15 minutos, abriendo las ventanas (aunque pueda causar discomfort térmico).

Explicación: Es la única forma de garantizar la renovación de aire del local cuando el sistema no está diseñado para realizarlo.

3. humidificación del aire

La Humedad Relativa (HR) y la temperatura (T) deben mantenerse dentro de los parámetros de confort, aunque pueda pensarse que contribuye a la transmisión de los agentes infecciosos transmitidos en gotículas.

- Es importante verificar que no se supere un valor de humedad del 60% y tampoco deberá ser inferior al 30%. Algunas recomendaciones establecen como óptimo un valor del 40%.

Explicación: Se ha estudiado la resistencia de agentes infecciosos como los virus a determinadas condiciones ambientales de T y HR. Por ejemplo el SARS-CoV-2 es sensible para HR > 80% y T > 30°. Pero en esas condiciones, favorecemos la presencia de otros microorganismos. Por otro lado, si la HR es baja, favorecemos la sequedad de las mucosas, y aumentamos la velocidad de evaporación de las gotículas, generando más cantidad de gotículas pequeñas (0,5-10 µm). Las membranas nasales son más sensibles a infecciones a HR bajas (por debajo del 30%) que ocurre normalmente en invierno, por lo que es necesario humectar el aire si la instalación lo permite.

4. Sistemas con recuperador de calor

El RITE obliga a disponer de un sistema de recuperación de calor cuando tenemos volúmenes de aire extraído superiores a 0,5 m³/s. El objetivo es ahorrar energía aprovechando el calor/frío del aire extraído.

- No es necesario apagar los sistemas con recuperador de calor si se garantiza que no hay intercambios de aire entre la impulsión y la extracción.

Explicación: En las UTA se diseñan las salidas de aire para evitar contaminación con el aire extraído o con otras extracciones. Además, para evitar olores o contaminantes, se garantiza en los intercambiadores de calor que no existen pérdidas hacia el conducto de impulsión (UNE-EN 13779 Anexo A4). Debe realizarse el mantenimiento normal que pueda detectar cualquier problema en estos sistemas.

5. No utilizar la recirculación del aire exclusivamente

La recirculación del aire permite el ahorro de energía mezclando aire de extracción (sólo se permite si su calidad es buena, poco contaminado).

- Evitar la recirculación de aire aunque disponga de unidades de filtrado.

Explicación: Aunque dispongan de filtros, no debería mantener abiertos la recirculación, ya que los filtros no evitan el paso de microorganismos al tener una eficacia media ya que buscan protegerlos frente a partículas grandes y no tienen eficiencia HEPA.

- Las unidades de fan coil y unidades de inducción de algunas salas deben apagarse si es posible mantener condiciones climáticas adecuadas sin ellas. Si no es posible, se recomienda no apagarlas.

Explicación: Estas unidades no filtran los microorganismos del aire, por lo que se recomienda apagarlos. Si no es posible se recomienda no apagarlos para evitar sedimentación en los filtros. Si es posible para inactivar el virus deben trabajar en calor un corto intervalo de tiempo (1 h al día a 60°C o 1 día a 40°).

6. Limpieza de conductos de climatización.

- El mantenimiento de los conductos y su limpieza será el habitual. No es un factor de incremento de la peligrosidad del virus.

Explicación: Si se cumplen las recomendaciones anteriores, el aire impulsado es aire limpio por lo que no contaminará el aire interior. Es más importante incrementar el aire exterior y evitar la recirculación. Debe realizarse la limpieza que se hace normalmente.

7. Filtros de unidad exterior.

- Tampoco el filtrado de aire que se introduce del exterior al interior requiere especial atención aparte del mantenimiento y cambio de filtros habituales.

Explicación: Los sistemas de ventilación modernos están equipados con filtros adecuados para filtrar partículas del exterior de 2,5PM. Aunque el tamaño de los virus (0.1PM) es menor, normalmente están fijados sobre partículas o fibras más grandes (y la eficacia de los filtros para estas partículas 1PM es del 60-90%).

- Cuando se tengan que retirar elementos o mantenimiento de los equipos de ventilación hay que incrementar la protección para evitar que se dispersen elementos sucios.

Explicación: Hay que realizar estos trabajos como si fueran activos microbiológicamente, incluyendo a los virus. Deben retirarse los filtros con los sistemas apagados y utilizando equipos de protección respiratoria y guantes, y deben introducirse en bolsas estancas.

8. Sistemas de higienización de habitaciones.

- Los sistemas de filtrado de alta eficacia HEPA o electrostáticos portátiles, son utilizados para limpiar el aire interior de partículas y pueden ser válidos en determinadas circunstancias.

Explicación: Su efectividad está limitada al caudal efectivo de filtrado y a su área de acción, que suele ser inferior a 10 m². No se recomienda que sustituya a la renovación de aire.

Normativa básica aplicable: Lugares de trabajo e Instalaciones Térmicas de Edificios.

No vamos a descubrir ahora el Real Decreto 486/1997 sobre Lugares de Trabajo. Define las Condiciones Ambientales que debe cumplir por legislación laboral en su Anexo III. Únicamente en su punto 3 apartado d, se definen las características de renovación de aire que deben existir en un lugar de trabajo dependiendo del tipo de actividad, la temperatura ambiental o la posible contaminación.

30 m ³ de aire limpio por hora y trabajador	trabajos sedentarios y ambientes no calurosos, sin contaminación.
50 m ³ de aire limpio por hora y trabajador	trabajos no sedentarios, ambientes sin neutralidad térmica o contaminados.

Tabla 1: caudales hora trabajador Lugares de Trabajo RD 486/1997

Estos valores mínimos de ventilación deben evitar un ambiente viciado, olores desagradables o posibles contaminantes que pueden generarse por la respiración de las personas. El CO₂ es el compuesto más representativo del metabolismo humano y es fácil de medir su concentración. Los caudales del RD 486/97 buscan mantener la concentración de CO₂ dentro de unos valores óptimos.

¿Por qué son necesarios estos caudales para garantizar la calidad de aire interior?

Imaginemos que tenemos una fuente de contaminación interior, pero que no es posible realizar una extracción localizada del contaminante. Para evitar alcanzar concentraciones elevadas se puede utilizar el método de dilución, consistente en renovar parte del aire interior introduciendo al recinto aire exterior. Cuando se introduce del exterior un volumen igual al del recinto se considera que se ha realizado una renovación de aire.

Las exigencias impuestas por el RD 486/97 y el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios) sobre calidad de aire interior procede de la norma UNE-EN 13779 y del informe CR 1752 del CEN. Exigen que todos los edificios deben disponer de:

- Un sistema de ventilación mecánica (que impulse el aire)
- Un sistema de filtrado del aire exterior (y en determinadas circunstancias el interior).

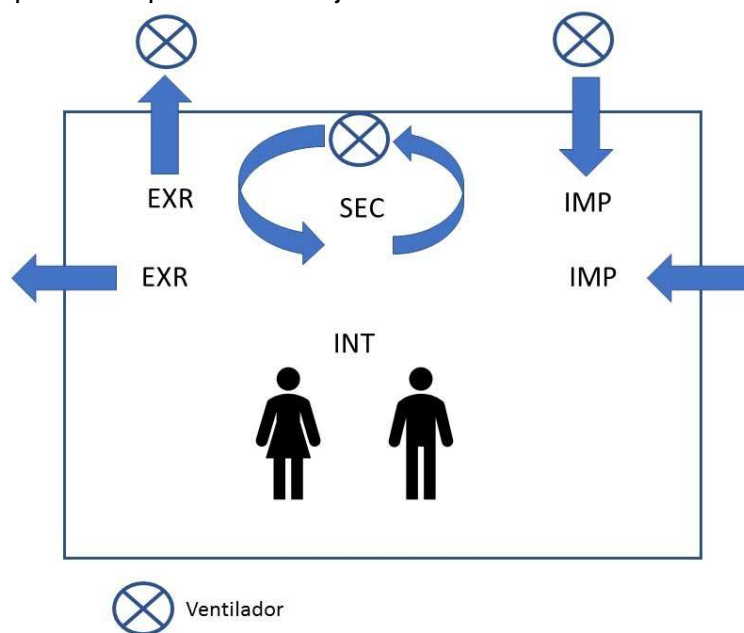
El caudal de ventilación con aire exterior de los locales se establece en función de la calidad de aire interior que necesitemos. Existe una clasificación según el uso del local:

Inglés	Español	Descripción
IDA1	INT1	Aire de óptima calidad: Hospitales, clínicas, laboratorios, guarderías y similares.
IDA2	INT2	Aire de buena calidad: Oficinas, residencias (estudiantes y ancianos), locales comunes de edificios hoteleros, salas de lecturas, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y similares, piscinas y similares
IDA3	INT3	Aire de calidad media: Edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de edificios hoteleros, restaurantes cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo las piscinas), salas de ordenadores y similares
IDA4	INT4	Aire de calidad baja: Nunca se emplea, salvo casos especiales que deberán ser justificados.

Tabla2: categorías de aire interior en función del uso de los edificios. RITE.

El sistema de flujos de aire de un recinto se puede resumir (en el RITE se consideran más tipos) en la siguiente figura:

Fig 1: Esquema simplificado de flujos de aire en un local o recinto.



- INT (en inglés IDA) Aire interior del local.
- IMP (en inglés SUP) el aire impulsado en el recinto (tras tratamiento del aire exterior (EXT u ODA). Procede normalmente de Unidades de Tratamiento de Aire (UTA) y suele recibir un tratamiento de purificación o filtrado de partículas usualmente.
- EXR (en inglés ETA) el aire extraído del recinto. Es el que se extrae mecánicamente, o el que se fuga a otros recintos o al exterior, principalmente por puertas y ventanas.
- SEC (en inglés SEC) el aire secundario (el que se recircula), es al que se mueve con un ventilador, o es enfriado o calentado en una unidad convectiva. No tiene sistema de filtrado adecuado y el nivel de calidad de aire es el mismo que el que existe en la sala.

Dependiendo de la contaminación del aire interior y exterior, el sistema de climatización del aire tendrá que ser filtrado para que el aire que se introduce en el local (IMP), al mezclarse con el aire interior (dilución) tenga los parámetros de calidad que precisemos. La cantidad de aire IMP que necesitamos se puede cuantificar, de acuerdo con el RITE, mediante cuatro métodos:

Categoría	Tasa de ventilación por persona	método olfativo (CR 1752)	Concentración CO2 (Sobre aire EXR)	Tasa de ventilación por unidad de superficie
	(L/s)	(dp)	(ppm)	(L/[s·m2])
INT1 / IDA1	20	0,8	350	No aplicable
INT2 / IDA2	12,5	1,2	500	0,83
INT3 / IDA3	8	2,0	800	0,55
INT4 / IDA4	5	3,0	1.200	0,28

Tabla 3: Métodos de cuantificación de caudal de aire impulsado según categoría aire interior

- por nivel de CO2. Aunque no se alcanzan concentraciones peligrosas en los locales, es un buen indicador de la emisión de biofluentes humanos, podemos valorar la renovación del aire de un recinto con su medida.
- por calidad de aire percibido. Dependiendo de los olores percibidos. Se utiliza como factor de confort en ambientes sin contaminantes peligrosos para la salud.
- Tasa de aire exterior por persona. Valores válidos donde se dan emisiones de baja intensidad (metabolismo cercano a 1,2 met que corresponde a una actividad sedentaria).
- Por tasa de aire exterior por unidad de superficie (cuando no hay una ocupación humana permanente)

Por ejemplo si queremos calcular el caudal por Tasa de Ventilación:

Una clínica (IDA1) por persona: $Q_v = 1 \text{ persona} \cdot 20 \text{ l/s} = 0,02 \text{ m}^3 \cdot 3600 / \text{h} = 72 \text{ m}^3/\text{h}$

Una oficina (IDA2) por persona: $Q_v = 1 \text{ persona} \cdot 12,5 \text{ l/s} = 0,0125 \text{ m}^3 \cdot 3600 / \text{h} = 45 \text{ m}^3/\text{h}$

Un cine (IDA3) por persona: $Q_v = 1 \text{ persona} \cdot 8 \text{ l/s} = 0,008 \text{ m}^3 \cdot 3600 / \text{h} = 28,8 \text{ m}^3/\text{h}$

Aproximadamente la ventilación para IDA2 se corresponde con los 50 m³/h y la de IDA3 con los 30 m³/h del RD 486/97.

Uso de filtros en la instalación

La finalidad del filtrado es cumplir los requisitos del aire interior en el edificio independientemente de las características del aire interior y exterior. Las instalaciones tienen diversos tipos de filtros

instalados para lograr reducir la presencia de partículas, gases y olores. El RITE recomienda los filtros necesarios (de acuerdo con la norma EN 779) y es normal en diseño instalar prefiltros para reducir la carga de partículas o gases antes de los filtros principales, con el fin de evitar su saturación. Existen filtros específicos

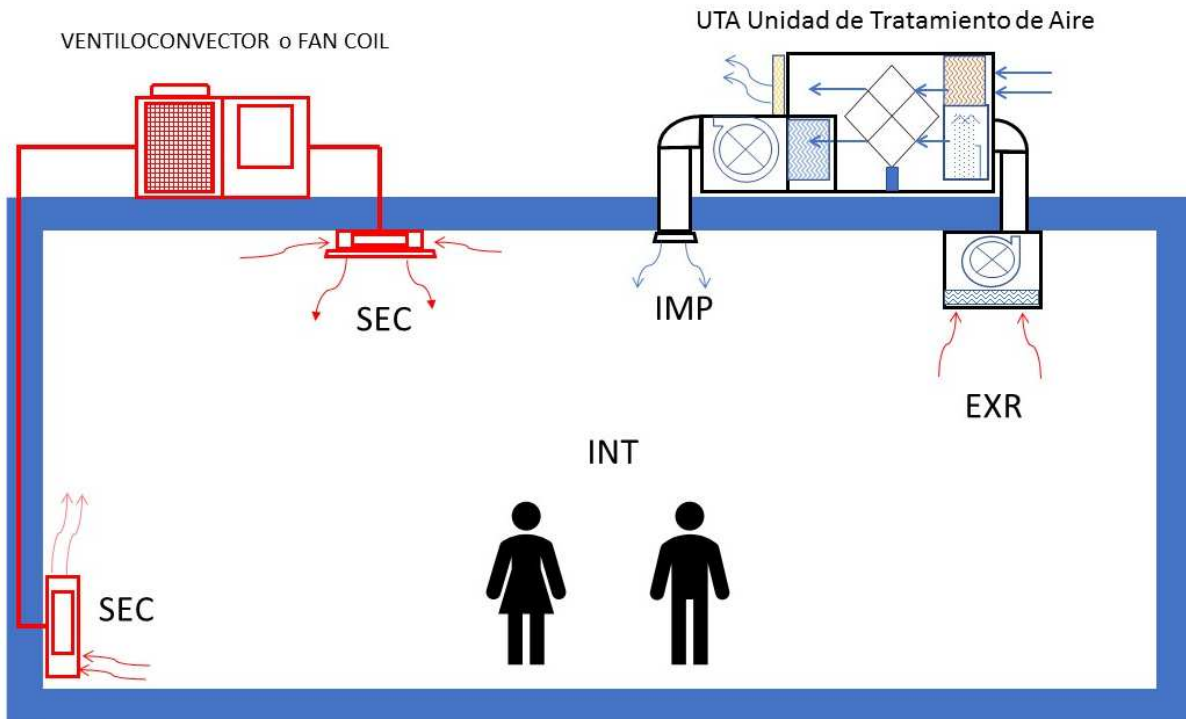


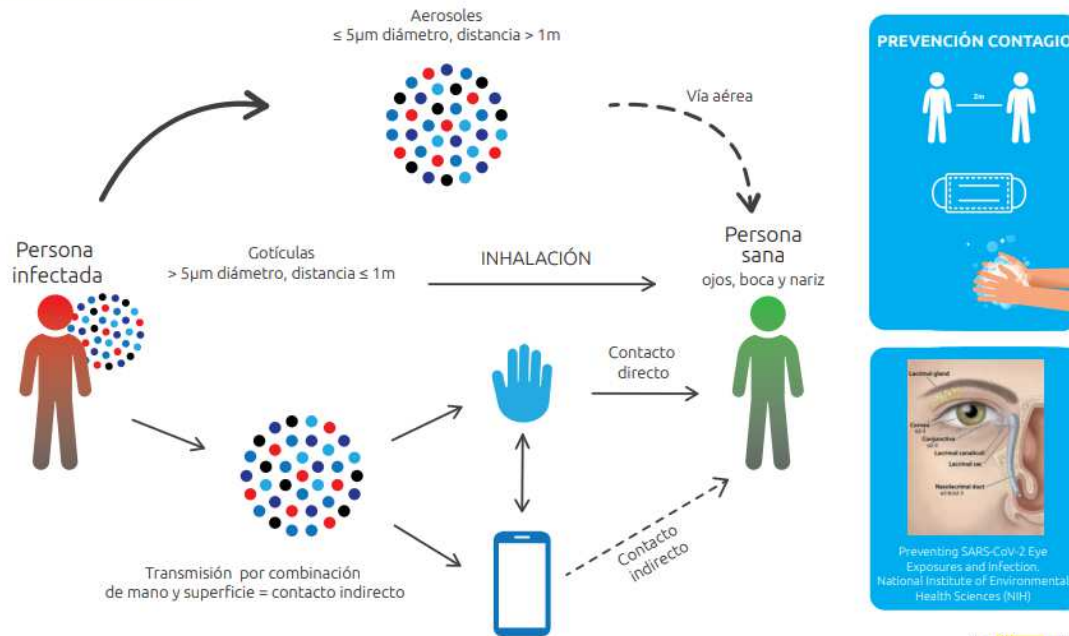
Fig 2: esquema de sistemas de impulsión UTA y FAN COIL

Ambientes interiores y enfermedades infecciosas

El diseño de la ventilación, además de mantener unas condiciones de confort, es necesaria para garantizar no transmitir agentes infecciosos.



Formas de transmisión del SARS-CoV-2

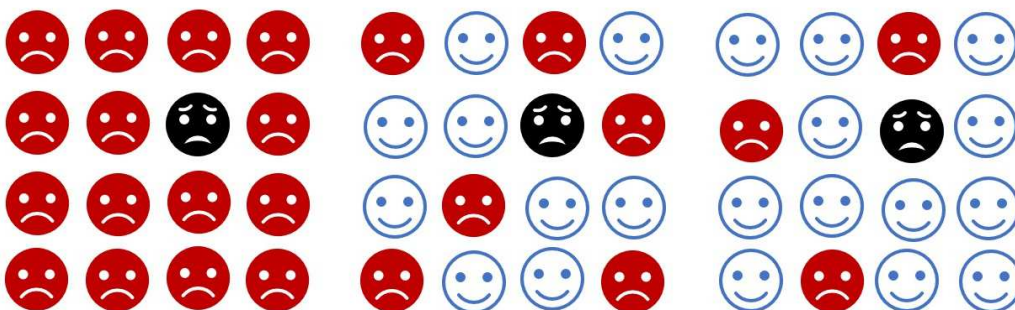


Fuente: COVID-19 Pandemic: Prevention and Protection Measures to Be Adopted at the Workplace

Asespeyo. Múltiples Combinaciones contra el Dengue Social nº 101

Se conocen por múltiples estudios y documentación la importancia que tiene la transmisión aérea de enfermedades infecciosas. Hay que tener en cuenta que no se realizan normalmente (salvo en zonas hospitalarias) controles de presencia de microorganismos en edificios, únicamente cuando existe algún foco importante.

De entre las enfermedades víricas infecciosas más estudiadas, los coronavirus SARS no son los más infecciosos. Si comparamos el número de reproducción R_0 de varios virus podemos hacernos una idea del riesgo de contagio que podemos tener en un recinto cerrado con una persona enferma. Nota: Algunos estudios consideran el R_0 del SARS-CoV2 por encima de 5 (ver bibliografía).



SARAMPIÓN $R_0 = 12-18$

VIRUELA $R_0 = 5-7$

SARS $R_0 = 2-5$

Se han documentado brotes virales en edificios públicos, en hospitales, en medios de transporte (aéreos), en cuarteles y en escuelas. Los virus respiratorios se pueden clasificar en dos grupos:

- los de la gripe (virus influenza, "gripe española" H1N1 (1918-1920), la gripe aviar H5N1 (1997-actualidad), gripe H1N1 (2009-2010))

- y los coronavirus (de baja patogenicidad y alta patogenicidad: SARS-CoV (2002-2003), MERS-CoV (2012) y SARS-CoV2 (2020))

La contaminación del aire interior para la transmisión de estas patologías son generadas por la actividad respiratoria de las personas. La emisión de partículas (gotículas) de diferentes tamaños al hablar, toser o estornudar, y la probabilidad de que contenga patógenos suficientes dependerá de su tamaño, la dirección e intensidad de los flujos de aire y sus cualidades de temperatura y humedad relativa, influyendo en su difusión y permanencia en suspensión. Es importante considerar las renovaciones de aire y los flujos de aire que se crean para valorar si la carga de virus existente es peligrosa.

¿Cuántas renovaciones de aire necesitamos para eliminar el aerosol en suspensión?

Renovaciones/hora	Tiempo en eliminar el 99% de las partículas en suspensión (min)	Tiempo en eliminar el 99,9% de las partículas en suspensión (min)
2	138	207
4	69	104
8	35	52
10	28	41
15	18	28
20	14	21
50	6	8

Tabla 4: Fuente: Rapporto ISS COVID-19 • n. 33/2020

La tabla 4 nos ayuda a comprender la dificultad que tenemos en un ambiente de interior para evitar un contaminante. Si garantizamos 30 m³/h por trabajador, estaremos realizando en una hora una renovación de un espacio muy pequeño, aproximadamente una habitación de 3x3x3 m³.

También es necesario recordar las limitaciones de velocidad de las corrientes de aire. En el puesto de trabajo no debe superar 0,25 m/s, 0,50 m/s o 0,75 m/s dependiendo de la actividad y condiciones climáticas (Real Decreto 486/97 anexo III 3.c). Su objetivo es evitar disconfort del trabajador. Pero en higiene industrial es necesario valorar los flujos de aire si queremos evitar la dispersión de un contaminante en suspensión. Una corriente de aire nos transporta un contaminante hacia donde quizás no queremos que se disperse.

Dispositivos especiales de desinfección o higienización

Filtros

Sólo los equipos que disponen de denominados filtros absolutos tienen una capacidad de eliminar agentes infecciosos, incluidos los virus.

Están basados en filtros de tipo HEPA. Un filtro HEPA de clase 13 se considera que es efectivo para retener partículas de las medidas del SARS-CoV-2. Dicha categoría garantiza una eficacia del 99,95% en la cantidad de partículas de diámetro superior a 100 nm retenidas por el sistema,

el tipo de virus que produce la COVID tiene un diámetro algo superior y por tanto quedaría atrapado en el filtro.

No se pueden sustituir los filtros de la instalación por filtros HEPA ya que cada equipo se ha dimensionado en conjunto y seguramente no garantice los caudales de aire necesarios para la ventilación de la instalación.

Existen sistemas que pueden recircular hasta 5 veces por hora el aire de un local, aunque no lo renueve, gracias al sistema de filtración. Con lo que garantizarían suficientemente que las partículas que filtran entre los que estarían los microorganismos no estén presentes en el ambiente.

Los filtros pierden efectividad si se saturan, lo que significa que han retenido demasiadas partículas, y dejan al sistema sin funcionar. Por tanto el mantenimiento y el cambio de filtros ha de realizarse escrupulosamente de acuerdo a las indicaciones de mantenimiento del fabricante o instalador.

Tratamiento con Ultravioleta

Un complemento al sistema de tratamiento del aire utiliza la eficacia de la luz ultravioleta UVC para eliminar agentes biológicos. En ocasiones se utiliza dentro de los locales, bajo estrictas medidas de seguridad, para la desinfección de las superficies y el aire.

Las lámparas insertadas en los conductos por los que se canaliza el aire de ventilación realizan la desinfección al incidir sobre los posibles microorganismos y destruir sus moléculas más fundamentales. Es una técnica que mantiene la radiación confinada dentro del sistema de ventilación y por tanto no existiría contacto con los ocupantes de las salas ventiladas. La luz es difícil que salga si está correctamente instalada.

Se puede aumentar la información en el siguiente enlace específico que desarrolla la cuestión:

<https://prevencion.asepeyo.es/wp-content/uploads/USO-DE-ULTRAVIOLETAS-PARA-DESINFECCION-DE-VIRUS-SARS-COV-2.pdf>

Ionización bipolar o técnica del Plasma frío

Se trata de otro sistema complementario, basado en tratar el aire haciéndole pasar por unos electrodos, que mediante una descarga eléctrica genera un plasma frío, mediante la ionización del aire, que desactiva cualquier agente biológico incluidos los virus.

Este tratamiento puede generar ozono, por lo que no permite impulsar directamente el aire en el local. Precisa de una instalación que libere el aire tratado y permita la eliminación o degradación del ozono tras realizar este tratamiento.

Es una técnica innovadora y que como mecanismo germicida se está utilizando en sectores como el de seguridad alimentaria, ya que no contamina los alimentos. Sin embargo respecto a las aplicaciones en ventilación, las condiciones de aplicación están en desarrollo.

Bibliografía:

Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE-2007)

<https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/environmental/index.html>

Guía técnica Instalaciones de climatización con equipos autónomos:

https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_17_Guia_tecnica_instalaciones_de_climatizacion_con Equipos_autonomos_5bd3407b.pdf

<https://didascalía.es/como-mantener-calidad-aire-interior/>

<https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance>

REHVA COVID-19 guidance document, April 3, 2020. March 17 version.

EN 13779 Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems.

Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE-2007)

Jonathan Ciencewicky & Ilona Jaspers (2007) Air Pollution and Respiratory Viral Infection, Inhalation Toxicology, 19:14, 1135-1146, DOI: 10.1080/08958370701665434
<https://doi.org/10.1080/08958370701665434>

Viruses And Indoor Air Pollution Robert B. Couch, M.D.
Department of Microbiology and Immunology Baylor College of Medicine Houston, Texas

Indicazioni sugli impianti di ventilazione/climatizzazione in strutture comunitarie non sanitarie e in ambienti domestici in relazione alla diffusione del virus SARS-CoV-2
Gruppo di Lavoro Ambiente-Rifiuti COVID-19

Enhanced spread of expiratory droplets by turbulence in a cough jet
Jianjian Wei*, Yuguo Li
Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong

Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19
Renyi Zhanga,b,1, Yixin Lib, Annie L. Zhangc, Yuan Wangd, and Mario J. Molinae.

High Contagiousness and Rapid Spread of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2
https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/7/20-0282_article