

Calidad de aire interior: filtros de carbón activo para su mejora

Indoor air quality: activated carbon filters for its improvement
Qualité de l'air intérieur: filtres à charbon actif pour l'amélioration

Redactores:

Eva Gallego Piñol
Doctora en Ciencias Ambientales

Xavier Roca Mussons
Doctor en Ingeniería Industrial

José Francisco Perales Lorente
Doctor en Ingeniería Industrial

LABORATORI DEL CENTRE DE MEDI AMBIENT.
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA (UPC).
BARCELONATECH.

Xavier Trillo Roca
Director Ejecutivo

ZONAIR3D (TRILANZ SL)

M^a Gràcia Rosell Farràs
Ingeniero Técnico Químico

Xavier Guardino Solà
Doctor en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE
CONDICIONES DE TRABAJO

La utilización de filtros de carbón activo para la mejora de la calidad de aire interior es una práctica habitual cuando se requiere un aire de calidad elevada o bien cuando el aire exterior presenta niveles altos de contaminantes gaseosos. En esta Nota Técnica de Prevención se exponen los aspectos a tener en cuenta en el empleo de estos filtros y se presenta un ejemplo sobre cómo evaluar su rendimiento.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. INTRODUCCIÓN

El nivel de la calidad de un aire interior (CAI) viene determinado por la presencia de gases y vapores orgánicos e inorgánicos (compuestos orgánicos volátiles (COV), ozono, monóxido de carbono, radón, etc.), aerosoles inhalables (polvo, fibras, humos, etc.), bioaerosoles (microorganismos y subproductos), y las condiciones termohigrométricas, las corrientes de aire y el ruido molesto (véase la NTP 972).

La presencia de COV, irritantes de membranas mucosas, ojos, piel, y parte de ellos sospechosos o comprobados CMR (cancerígenos, mutagénicos y/o tóxicos de la reproducción), puede provocar molestias (irritación, picor, quemazón, dolor de cabeza, mareos, fatiga, náuseas), así como producir efectos perjudiciales sobre la salud a largo plazo en los ocupantes de los espacios interiores. Así mismo, se debe tener en cuenta que bajas concentraciones de COV que pueden ser toleradas por la población general pueden generar reacciones adversas en segmentos de población diana (asmáticos o personas afectadas por sensibilidad química múltiple, por ejemplo). Las fuentes de COV en ambientes interiores son variadas, pudiendo destacar las emisiones de estos compuestos a partir de materiales de construcción/decoración, productos de limpieza y consumo, humo de tabaco, y su entrada al ambiente interior proveniente de actividades externas (aire exterior).

Cuando la CAI, por lo que se refiere a los COV, no puede mantenerse con los procedimientos habituales de control (ventilación, reducción en origen, encerramiento de fuentes, etc.) o bien cuando se requiere una calidad

muy elevada por motivos técnicos o debido a la presencia de personas con especial sensibilidad, debe recurrirse a otras tecnologías.

Los sistemas de ventilación/climatización suelen incluir algún sistema de tratamiento del aire, generalmente filtros para retener materia particulada. Sin embargo, este tipo de filtros no tienen ningún efecto sobre los COV. Para eliminar gases y vapores son necesarios otros tratamientos, como absorción o combinación química, pero principalmente mediante adsorción, basada en la retención de los compuestos de interés en materiales adsorbentes, como alúmina o la sílica gel, pero sobre todo en carbón activo, debido a su alta capacidad de adsorción y a su importante área superficial específica. El carbón activo ofrece la ventaja adicional de eliminar también el ozono.

2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REDUCCIÓN DE COV EN FILTROS DE CARBÓN ACTIVO

Las eficiencias de reducción de COV en aire de los filtros de carbón activo comercializados se evalúan frecuentemente para un número limitado de ellos a concentraciones muy elevadas, las cuales raramente se encuentran en ambientes interiores no industriales, y sin tener en cuenta las posibles variaciones de temperatura y humedad. Por lo tanto, la eficiencia de reducción de COV en condiciones reales de CAI de los filtros habitualmente encontrados en el mercado es generalmente desconocida.

Para valorar la eficiencia de reducción de COV de un filtro de carbón activo es necesario cuantificar de forma individualizada un amplio número de estos compuestos, que sean representativos de las diferentes familias químicas presentes en el aire, en las conducciones de entrada y de salida del filtro. La captación de COV en tubos multilecho (Carbotrap, Carbopack X y Carboxen 569) y su posterior análisis con desorción térmica acoplada a cromatografía de gases y espectrometría de masas (DT-GC/MS) (véase la NTP 978), junto con el control en continuo de la temperatura, humedad relativa, concentración de dióxido de carbono y monóxido de carbono, es la metodología idónea para llevar a cabo esta evaluación.

La eficiencia de eliminación para cada COV se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \left[1 - \frac{\text{Concentración}_i \text{ salida filtro}}{\text{Concentración}_i \text{ entrada filtro}} \right] \times 100$$

donde *i* se refiere a cada uno de los COV considerados.

Los COV más abundantes en ambientes interiores públicos y privados no industriales son tolueno, benceno, etilbenceno, *m+p*-xilenos, 1,2,4-trimetilbenceno, 1,3,5-trimetilbenceno, limoneno, α -pineno, *p*-diclorobenceno, tricloroetileno, tetracloroetileno, decano, cloroformo, hexanal, nonanal, acetona y 2-butoxietanol.

Concentraciones totales de COV (TCOV) en un aire interior inferiores a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se encuentran en el rango de confort, en el cuál no se esperarían quejas debido a una baja CAI, a excepción de la parte de la población afectada por algún tipo de afección respiratoria y/o sensibilidad química múltiple. Para valorar el efecto sensorial de las concentraciones de TCOV suelen utilizarse los valores indicativos presentados en la tabla 1 (véase la NTP 972).

Rango TCOV	Rango de exposición	Efectos esperados
<0,2 mg/m^3	Confort	No disminuye el confort.
0,2–3 mg/m^3	Multi-factorial	Irritación; olores; posible disconfort.
3-25 mg/m^3	Disconfort	Alto disconfort; olores; dolor de cabeza.
25 mg/m^3	Tóxico	Posibles efectos neurotóxicos; peligrosidad para la salud.

Tabla 1. Efectos sensoriales de los rangos de TCOV

Las diferentes actividades desarrolladas en el ambiente interior estudiado, los productos de construcción/decoración y/o la entrada de aire exterior con una carga de COV importante pueden favorecer en ese espacio concentraciones de TCOV superiores a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Es en estos casos, o bien en una situación de confort pero con población sensible en el ambiente interior, cuándo se requiere una disminución efectiva de COV.

Aplicación de la metodología de evaluación de reducción de COV a un filtro de carbón activo

A continuación se exponen los resultados obtenidos en un estudio para determinar la eficiencia de adsorción en condiciones reales (variaciones en las concentraciones de COV, temperatura y humedad relativa en un edificio

de oficinas) de un filtro de carbón activo comercializado. La metodología de evaluación tiene como objetivo aportar datos relevantes tanto en relación a la disminución de COV esperada en edificios no industriales, como en el diseño de sistemas de ventilación/climatización.

a) Características del filtro:

- Proveedor: VENFILTER
- Referencia: CAMME37545523 ®
- Dimensiones del filtro: 37,5 x 45,5 x 2,3 cm
- Peso de material adsorbente: 2 kg de carbón activo de cáscara de coco
- Geometría del *pellet*: cilíndrico de 8 mm de longitud y 4 mm de diámetro (el carbón activo del filtro se presenta en forma de *pellet*, es decir, de aglomeraciones de forma cilíndrica de éste material).
- Densidad aparente: 0,52-0,58 g/cm^3
- Diámetro promedio de poro: 1,56 nm

b) Intervalos de concentración de COV evaluados:

En la tabla 2 se presentan los rangos de concentración de COV en los que se ha evaluado el filtro de carbón activo.

Familia	Rango concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Aire exterior	Aire interior (100% recirculado)
Alcanos	2-7	4-30
Hidrocarburos aromáticos	8-110	9-270
Alcoholes	1,5-12	5-17
Cetonas	17-48	47-96
Compuestos halogenados	3-6	4-20
Aldehídos	14-52	60-175
Ésteres	1,5-15	3-7
Terpenos	1-3,5	6-17
Éteres	2-27	3-60
Glicoles	0,1-2	0,5-5
Compuestos nitrogenados	3-6	0,5-8

Tabla 2. Rango de concentraciones del aire de impulsión dependiendo de su origen

c) Eficiencias de reducción de COV:

Las eficiencias de reducción de COV se presentan en las Tablas 3 y 4 para aire de impulsión proveniente en su totalidad del exterior o del interior del edificio (100% recirculado).

El promedio de reducción de COV, independientemente del origen del aire de impulsión, se encuentra en torno al 60-70% (ver figura 1). La evaluación mediante la utilización de dos filtros en serie mejora de forma significativa (10%) la disminución de terpenos al usarse aire interior como aire de impulsión.

Algunos aldehídos (hexanal, heptanal, octanal, nonanal y decanal) se desorben desde el filtro hacia el aire tratado cuándo se usa aire 100% procedente del exterior, debido a las bajas concentraciones que presentan en él. Aunque el incremento de concentraciones no es importante (0.1-21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) este aspecto debe tomarse en consideración cuándo se use aire totalmente exterior en los sistemas de ventilación/climatización.

Familia	1 filtro	2 filtros*
Alcanos	68 ± 6	75 ± 12
Hidrocarburos aromáticos	66 ± 5	65 ± 11
Alcoholes	48 ± 12	55 ± 23
Cetonas	70 ± 10	70 ± 16
Compuestos halogenados	61 ± 9	68 ± 6
Aldehídos	48 ± 13	46 ± 15
Ésteres	60 ± 12	65 ± 17
Terpenos	55 ± 12	60 ± 19
Éteres	55 ± 16	67 ± 12
Glicoles	87 ± 11	69 ± 20
Compuestos nitrogenados	89 ± 20	78 ± 3
Todas las familias	61 ± 15	65 ± 15

*Filtros instalados en serie

Tabla 3. Eficiencias de reducción de COV (%) para aire de impulsión 100% exterior

Familia	1 filtro	2 filtros*
Alcanos	71 ± 6	69 ± 13
Hidrocarburos aromáticos	67 ± 7	70 ± 4
Alcoholes	52 ± 21	68 ± 7
Cetonas	67 ± 14	71 ± 8
Compuestos halogenados	60 ± 12	59 ± 9
Aldehídos	54 ± 11	61 ± 14
Ésteres	63 ± 7	62 ± 8
Terpenos	63 ± 6	73 ± 5
Éteres	57 ± 15	62 ± 9
Glicoles	84 ± 7	80 ± 9
Compuestos nitrogenados	94 ± 9	71 ± 3
Todas las familias	65 ± 13	67 ± 10

*Filtros instalados en serie

Tabla 4. Eficiencias de reducción de COV (%) para aire de impulsión interior (100% recirculado)

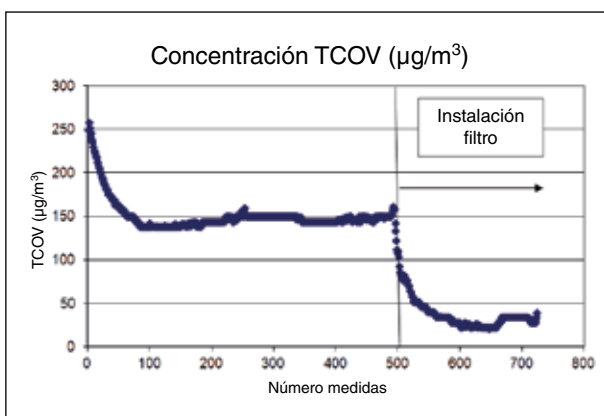


Figura 1. Disminución de TCOV por parte del filtro de carbón activo

Influencia de la humedad relativa

Las altas humedades relativas (> 80%) reducen la capacidad de adsorción de los filtros de carbón activo debido a la competencia que ejerce el vapor de agua con los COV por la superficie de adsorción del filtro. Así mismo, bajas humedades relativas (22-28%) también ejercen un efecto negativo en la capacidad de reducción de COV por el filtro. Por lo tanto, es recomendable que las humedades relativas del aire de impulsión, sea todo exterior o parte recirculado, se encuentren en el rango entre 30-80%. Cabe recordar que las humedades relativas en ambientes interiores para una buena CAI deben hallarse entre el 30 y el 60% (véase la NTP 972).

3. EFICIENCIA DE REDUCCIÓN DE OZONO

Los filtros de carbón activo para la reducción de ozono en el aire son habituales, como en el caso de la aplicación en fotocopiadoras, para disminuir su emisión al aire interior de oficinas. Su eficiencia es relativamente alta, por encima del 90% para tiempos de utilización del filtro de hasta un año.

La metodología aplicada para evaluar la eficiencia de reducción de ozono es la misma usada para determinar la eficiencia de eliminación de COV, en este caso mediante el control de las concentraciones de ozono en las conducciones de entrada y salida del filtro con un monitor en continuo (Direct Sense TOX TG-501 ®). El nivel de reducción de ozono presente en el aire de impulsión ha sido del 99,8% en todos los casos. En la Figura 2 se muestra la concentración de ozono en el aire interior estudiado antes y después de la instalación del filtro de carbón activo.

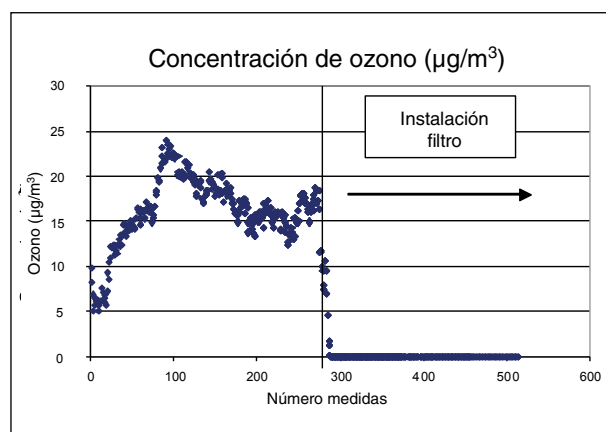


Figura 2. Eliminación de ozono por parte del filtro de carbón activo.

4. MANTENIMIENTO DE LOS FILTROS EN LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN/CLIMATIZACIÓN

Para que la reducción de COV y ozono esté asegurada y el sistema funcione correctamente se debe prestar atención al cambio sistemático de los filtros cuándo sea conveniente. La sustitución debe realizarse comprobando el buen estado e instalación de las juntas de estanqueidad en el sistema de tratamiento del aire o conductos de ventilación.

Estimación de la pérdida de eficacia de los filtros

Para el estudio de la saturación de un material adsorbente es necesario definir previamente dos conceptos:

- **Capacidad de absorción del filtro de carbón activo:** indica la masa total de COV que puede quedar adsorbida por unidad de masa de carbón activo. Solo se alcanza la capacidad total del filtro (saturación) una vez se ha pasado por una etapa de eficiencia decreciente.
- **Eficiencia de captación de COV:** Definida en el apartado 2. La eficiencia de captación es la que señala el límite de uso del filtro.

La estimación del tiempo de saturación del filtro estudiado se ha determinado por modelización numérica a partir de las eficiencias de reducción de COV obtenidas para las concentraciones evaluadas de estos compuestos. La vida útil del filtro de carbón activo depende de la evolución de la eficiencia de captación y del grado de eliminación de COV que se desee conseguir. Esta eficiencia disminuye con el tiempo, conforme el filtro se va saturando. En filtros utilizados en conductos de aire, de pocos centímetros de espesor, donde la longitud del frente de

adsorción ocupa prácticamente todo el espesor del filtro, y con un tiempo de residencia muy pequeño (inferior a 1 segundo), la relación entre eficiencia de eliminación de contaminantes y grado de saturación puede variar mucho en función de las características del material que constituye el carbón activo. En la figura 3 se muestran las curvas de eficiencia y saturación para unas condiciones de uso dadas (espesor de filtro de 23 mm, tiempo de residencia inferior a 0,05 segundos y concentración de entrada de 300 microgramos COV/m³) para tres tamaños de *pellet* de carbón activo diferentes.

Los datos de la figura 3, para unas eficiencias de captación dadas, se muestran en la Tabla 5.

Los valores de la Tabla 5 pueden orientar sobre la durabilidad del filtro, aunque con ensayos más exhaustivos se puede llegar a determinar de manera más precisa el nivel de saturación del mismo. Por lo tanto, sin hacer más ensayos previos, para el carbón activo estudiado (*pellet* de 4 mm Ø) sería recomendable el cambio del o de los filtros aproximadamente cada 6 meses (en las condiciones del ensayo evaluadas), dependiendo de las concentraciones de COV del aire de impulsión y de la eficiencia de eliminación de COV deseada.

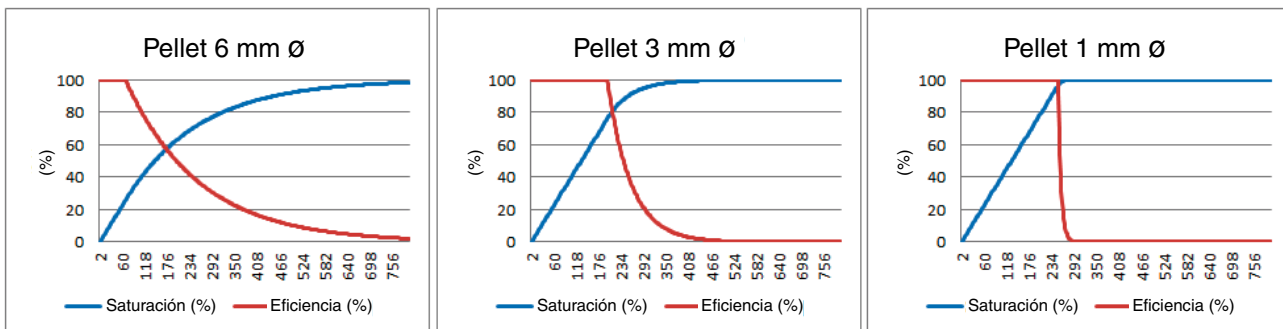


Figura 3. Ejemplo de funcionamiento de un filtro de carbón activo en el tiempo (abscisas: días) para tres diámetros de *pellet* de carbón activo

Eficiencia de eliminación de COV	Diámetro <i>pellet</i> 6 mm	Diámetro <i>pellet</i> 3 mm	Diámetro <i>pellet</i> 1 mm
99%	71 días (27%)	198 días (76%)	250 días (96,2%)
90%	86 días (32%)	204 días (78%)	252 días (97,0%)
80%	111 días (40%)	210 días (80%)	253 días (97,5%)
50 %	201 días (63%)	240 días (88%)	257 días (98,5%)

() Entre paréntesis se indica el grado de saturación alcanzado por el filtro

Tabla 5. Tiempo de vida útil de los filtros en función de la eficiencia de captación deseada (resultados para tiempo de residencia inferior a 1 segundo)

BIBLIOGRAFÍA

European Commission. Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations. European Collaborative Action. Indoor air quality and its impact on man (Report No. 19). Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities, 1997. 48 p.

GALLEGO, E., ROCA, F.J., PERALES, J.F., GUARDINO, X.
Determining indoor air quality and identifying the origin of odour episodes in indoor environments.
Journal of Environmental Sciences, 2009, n°21, p. 333-339

GALLEGO, E., ROCA, F.J., PERALES, J.F., GUARDINO, X.

Assessment of chemical hazards in sick building syndrome situations. Determination of concentrations and origin of VOCs in indoor air environments by dynamic sampling and TD-GC/MS analysis. In: Sick Building Syndrome in Public Buildings and Workplaces.

Heidelberg: Springer, 2011, p. 289-334.

GALLEGO, E., ROCA, F.J., PERALES, J.F., GUARDINO, X.

Experimental evaluation of VOC removal efficiency of a coconut shell activated carbon filter for indoor air quality enhancement.

Building and Environment, 2013, n°67, p. 14-25.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (INSHT).

Calidad de Aire Interior. 2ª Edición.

Barcelona, INSHT, 2008. 214 p.

ISO 16000-6. Indoor air. Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID.

METTS, T.A., BATTERMAN, S.A.

Effect of VOC loading on the ozone removal efficiency of activated carbon filters.

Chemosphere, 2006, n° 62, p. 34-44.

WESCHLER, C.J.

Ozone in indoor environments: concentration and chemistry.

Indoor air, 2000, n° 10, p. 269-288.

