

Resumen ejecutivo	1
Aislamiento y climatización del aire interior	2
Emissiones de sustancias peligrosas en la atmósfera interior	2
La cuestión de los MDI 	3
La cuestión de la contaminación microbiana 	4
La cuestión de la "transpirabilidad" 	4
Trabajo con aislamiento de PU 	5
 Aviso legal 	5
 ANEXO 1 Pruebas de emisiones de MDI	6

¿Qué es el PU?

El aislamiento de PU se refiere a un grupo de materiales de aislamiento basados en estructuras de PUR (poliuretano) o PIR (poliisocianuratos). Su cerrada estructura celular y elevada densidad de entrecruzamiento les proporciona características de buena estabilidad térmica, alta resistencia a la compresión y excelentes propiedades de aislamiento. El aislamiento de PU tiene una conductividad térmica muy baja, que comienza tan baja como 0,022 W/mK, lo que lo convierte en uno de los aislantes más eficaces disponibles actualmente para una amplia gama de aplicaciones.

Como el PU muestra niveles de emisiones muy bajos y es extremadamente versátil, también es utilizado ampliamente en aplicaciones fuera de la industria de la construcción. Esto incluye a la cadena alimentaria, dispositivos médicos, ropa, colchones, piezas de coches y neveras.

Calidad del aire interior y aislamiento de poliuretano

Resumen ejecutivo

Las personas pasan alrededor del 90 % de su vida en edificios. Es, por tanto, de la máxima importancia el mantenimiento de un clima interior saludable, que incluye reducir al mínimo la presencia de compuestos orgánicos volátiles (VOC) y partículas (como las fibras). Esto se ve adicionalmente acentuado por la necesidad de fabricar envolventes de edificio herméticas para evitar pérdidas térmicas.

Los productos de aislamiento térmico juegan un papel importante en la reducción de la demanda de energía de los edificios nuevos y de los existentes. Normalmente no están en contacto directo con el aire interior sino cubiertos por otros materiales de construcción como el yeso/placas de yeso, madera, ladrillos u hormigón. Su impacto en la calidad del aire interior (indoor air quality, IAQ) es por tanto despreciable. Incluso aunque todos los productos de construcción juntos solo tengan un impacto muy pequeño en la IAQ, la industria reconoce la necesidad de proporcionar información transparente sobre las emisiones VOC de sus productos.

En el marco de la legislación de los productos de construcción de la UE, CEN desarrolla métodos de ensayo armonizados para las emisiones de aire interior basados en la serie ISO16000. Probablemente se harán declaraciones de acuerdo con los sistemas de clases nacionales, que tendrán que ser compatibles con el formato de comunicación europeo actualmente en desarrollo.

La industria del PU ya ha publicado de forma

proactiva datos de emisiones de VOC/SVOC (SVOC, compuestos orgánicos semi-volátiles). Estos datos demuestran que el aislamiento de PU es un producto de muy bajas emisiones totalmente adecuado para uso en el interior. En cuanto al MDI, reconocidos métodos de prueba de emisiones de productos han demostrado que no hay emisiones portadas en el aire medibles de productos de aislamiento de PU instalados. Incluso en las condiciones de ensayo en el interior de los peores casos, no pudieron identificarse MDI monoméricos de la espuma de PU curada después de 24 horas.

El PU muestra excelentes niveles de comportamiento respecto a otros aspectos relacionados con la salud. Como el PU no ofrece un caldo de cultivo o alimento para el moho, bacteria o insectos, no se emitieron compuestos/especies microbianas. La necesidad de envolventes herméticas de edificio puede causar problemas relacionados con la condensación, lo que puede producirse en la capa de aislamiento de paredes y cubiertas si se utiliza un material de baja resistencia al vapor. Gracias a su muy baja permeabilidad, el PU no se verá afectado.

En cuanto a la fase de instalación, no hay evidencia de riesgos dérmicos cuando se trabaja con espuma de PU (corte, colocación, etc.). Por otra parte, deben observarse unos requisitos especiales de salud y seguridad cuando se aplica espuma de PU in situ, y el proyectado solo debe ejecutarse por aplicadores profesionales debidamente cualificados.

Aislamiento y climatización del aire interior

“El aislamiento térmico juega un papel crucial en el mantenimiento del confort interior al tiempo que logra niveles de demanda de energía casi cero ...”

Tanto si se trata de viviendas, escuelas, oficinas, fábricas o centros comerciales, la gente invierte alrededor del 90% de su vida en edificios. Asegurar un clima interior saludable y confortable mientras se cumplen los requisitos de eficiencia energética más elevados es, por tanto, de una importancia primordial.

El aislamiento térmico juega un papel crucial en el mantenimiento del confort interior al tiempo que logra niveles de demanda de energía casi cero para los nuevos edificios de Europa y reduce drásticamente la demanda de energía en el parque de edificios existente. Gracias a su durabilidad y rendimiento superior del aislamiento, el PU (PUR/PIR) es el material elegido para alcanzar estos objetivos. Sin embargo, actualmente se requieren capas de aislamiento más gruesas para conseguir envolventes de edificios de elevada resistencia térmica, incluso cuando se utilizan productos de aislamiento del mejor comportamiento como el PU. Esto, a su vez, puede llevar a emisiones más elevadas de sustancias de estos productos.

Uno puede discutir que los productos de aislamiento térmico no están normalmente directamente expuestos al aire interior sino cubiertos por materiales de construcción como yeso/paneles de yeso, madera, ladrillo u hormigón y que las potenciales emisiones de la capa de aislamiento no pueden entrar en contacto con el aire interior.

Sin embargo, estas capas de recubrimiento pueden no ser estancas al gas o perforarse para la instalación de sistemas técnicos de edificación. Además, el propietario/usuario del edificio tiene derecho a ser informado sobre los peligros potenciales vinculados a los productos de construcción usados en su edificio.

PU Europe se compromete a comunicar los resultados de ensayo de terceros relativos a los efectos del uso de aislamiento de PU en edificios. Esta hoja informativa examina las emisiones de sustancias peligrosas de productos de aislamiento de PU y el papel que el PU juega en evitar problemas de humedad y moho en edificios de baja energía.

Emisiones de sustancias peligrosas en la atmósfera interior

“...la suma de todos los productos de construcción solo representa a un contribuyente muy pequeño de la carga de enfermedad que cuantifica la cantidad de enfermedades causadas por la contaminación del aire interior”.

La calidad del aire interior de un edificio es determinada por múltiples factores incluidos sus patrones de uso (presencia humana, humo, cocinas, chimeneas, etc.), calefacción, tasas de ventilación y emisiones del mobiliario, pinturas y productos de construcción. Como se muestra en la *figura 1*, la suma de todos los productos de construcción solo representa a un contribuyente muy pequeño de la carga de enfermedad que cuantifica la cantidad de enfermedades causadas por la contaminación del aire interior. Sin embargo, los productores de materiales de construcción tienen que asegurarse de que sus productos no pueden causar ningún daño a los usuarios de los edificios.

El Requisito Esencial n° 3 de la Directiva de Productos de Construcción, sustituida por los Requisitos Básicos de Trabajos de Construcción n° 3 del Reglamento sobre Productos de Construcción, exige que las obras se diseñen y construyan de forma que no supongan una amenaza para la higiene o salud y seguridad de sus ocupantes [1]. Esto incluye emisiones de sustancias peligrosas, compuestos orgánicos volátiles (VOC), gases efecto invernadero o partículas peligrosas en el aire interior y exterior, y humedad en partes de los trabajos de construcción o en superficies dentro de los trabajos de construcción.

En respuesta a la parte de esta disposición sobre el aire interior, la Comisión Europea ordenó a CEN que desarrollara una norma de ensayo armonizada para medir las emisiones de VOC y SVOC de productos de construcción [2].

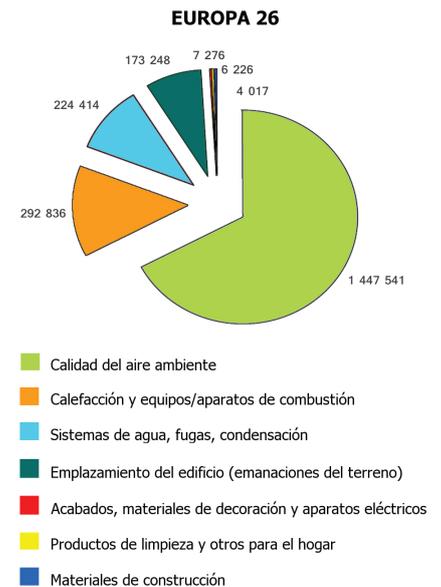


Figura 1: Carga de enfermedad asociada a IAQ atribuida a las fuentes de exposición principales [3]

Este método se basa en la norma internacional ISO16000-9. La norma ISO ya se encuentra en uso en cierto número de estados miembro, incluyendo Alemania (Plan AgBB), Francia (decreto n°2011-321) y el plan voluntario finlandés M1. El método de ensayo CEN está actualmente disponible como Especificación Técnica TS 16516. Se publicará como norma CEN en 2016 y sustituirá a la norma ISO16000-9.

Hacia clases técnicas europeas armonizadas

“Cualquier nuevo plan nacional probablemente tendría que aplicar el formato armonizado”.

Con el fin de armonizar las declaraciones de emisiones, la Comisión Europea se comprometió a combinar el régimen Alemán AgBB y el decreto francés n°2011-321. Ellos representan los dos primeros planes notificados a la Comisión. Mientras tanto, Bélgica presentó su propio sistema que muestra elementos tanto de los planes alemán como francés. Asimismo, el nuevo plan de Lituania debería ser compatible con otros sistemas existentes.

El proceso de armonización de los valores de LCI (concentración más baja de interés) no ha finalizado todavía. El enfoque LCI fue desarrollado para evaluar los efectos para la salud de los compuestos de los materiales de construcción. Originalmente era parte de un plan básico para la evaluación de emisiones de VOC.

A finales de 2014, la Comisión presentó una propuesta revisada de clases técnicas armonizadas. Si se aprueba se publicará a través de un Acto Delegado. Aunque Francia, Bélgica, Alemania y Lituania podrían seguir utilizando sus propios formatos de comunicación, tendrían que mantener el cumplimiento con el plan europeo. Cualquier nuevo plan nacional probablemente tendría que aplicar el formato armonizado. Por ejemplo, el nivel A+ francés correspondería a las clases europeas A-f1 o B-f1 (ver más abajo).

Desafortunadamente, es poco probable que se adopte la propuesta a corto plazo ya que Polonia ha notificado otro plan a la Comisión. Data de 1996 y no es compatible con las clases propuestas. Francia rechaza también el formato de comunicación, ya que difiere del suyo propio.

Clase europea	Criterios individuales			RA = requisitos adicionales (como emisiones de TVOC < 100 µg/m³, Suma de “sustancias todavía no evaluadas” y de “sustancias no identificadas” < 100 µg/m³, Valor R ≤ 1). Todas las sustancias individuales que se declaren bajo el plan francés están incluidas en la clase TVOC. La peor clase individual determina la clase general TVOC.
	TVOC [µg/m³]	HCHO [µg/m³]	RA satisfechos	
A-f1	< 1000	< 10	sí	
A-f2	< 1000	< 60	sí	
A-f3	< 1000	< 80	sí	
A-f4	< 1000	< 100	sí	
A-f5	< 1000	< 120	sí	
A-f6	< 1000	< 120	sí	
B-f1 to f6	< 1000	cualquier valor posible	no	
C-f1 to f6	< 1500	cualquier valor posible	sí o no	
D-f1 to f6	< 2000	cualquier valor posible	sí o no	
E-f1 to f6	> 2000	cualquier valor posible	sí o no	

Tabla 1: Clases de concentración en habitaciones de referencia propuestas por la Comisión Europea (diciembre, 2014). Todos los valores en µg/m³

Emisiones de productos de aislamiento de PU

“...no se detectaron sustancias carcinógenas, mutagénicas o reprotóxicas en ninguna de las pruebas de emisiones sobre espuma de PU”.

El aislamiento de PU se considera un producto de emisiones muy bajas. De hecho, las emisiones de productos de PU están muy por debajo de la mayoría de otros productos de aislamiento. En particular, los aislantes naturales pueden tener niveles de emisiones más de 100 veces superiores a los del PU [4]. Muy importante: no se detectaron sustancias carcinógenas, mutagénicas o reprotóxicas en ninguna de las pruebas de emisiones sobre espuma de PU.

En todos los sistemas de clasificación de emisiones de VOC/SVOC existentes, el aislamiento de PU puede lograr la mejor clase. Esto se aplica a los paneles de aislamiento, paneles sándwich y de espuma in situ de celda cerrada. Por tanto, el aislamiento de PU es

adecuado para uso en interiores sin reservas. El excelente rendimiento del aislamiento de PU se demuestra por los resultados de ensayos de acuerdo con el diagrama alemán AgBB.

La mayoría de los productos de aislamiento de PU utilizan pentano como agente expansor. Esta sustancia es un compuesto muy volátil (VVOC) y se emite solo en pequeñas cantidades desde la espuma de celda cerrada. El pentano es ampliamente usado en cosmética, lo que posiblemente lleva a las exposiciones de inhalación más elevadas, pero incluso en ese caso, las concentraciones de exposición se consideran bajas [5]. Por tanto, los reguladores no identificaron ningún efecto adverso para la salud y se abstuvieron de adoptar ninguna restricción a su uso.

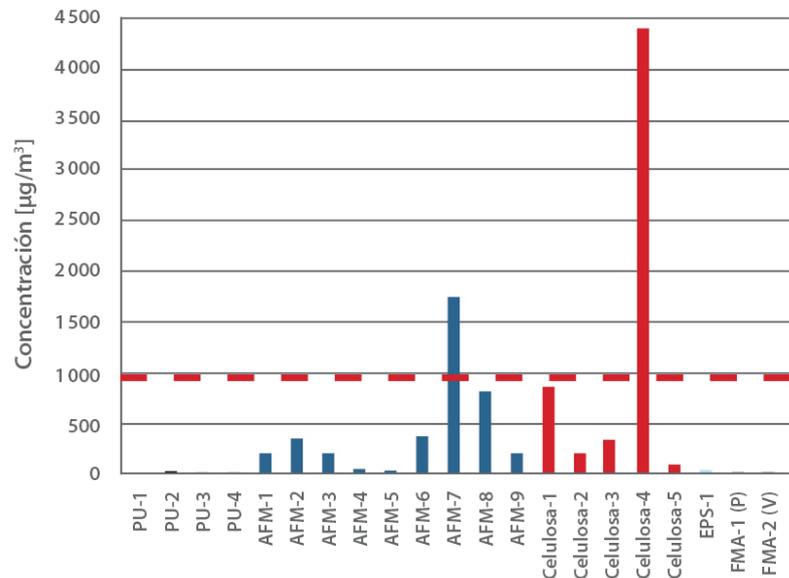


Figura 2: Valores de TVOC de diferentes materiales de aislamiento (28 días) – AFM = aislamiento de fibra de madera, FMA= fibras minerales artificiales (P = piedra, V = vidrio) [6]

Descripción general de los resultados de 28 días	Valores medidos [µg/m³]
TVOC (C6 – C16)	0-5
Σ VOC excl. NIK (C6 – C16)	0-5
Σ SVOC (C16 – C22)	0-5
Σ cancerígenos	0
Σ Ri [-]	<1

Tabla 2: Concentraciones de habitaciones de referencia debidas a emisiones de paneles de aislamiento de PU de conformidad con el diagrama AgBB utilizando ISO16000 (28 días) [7]

La cuestión de los MDI

“Terceros probaron una gama de productos de aislamiento de PU utilizando reconocidos métodos de ensayo para verificar si eran detectables emisiones de MDI [...]. Todos ellos confirman que no hay emisiones de MDI de estos productos.”

El aislamiento de PU (PUR/PIR) se produce por una reacción de diisocianatos (MDI) con polioles o ellos mismos para crear PUR sólido y/o estructura celular de PIR. MDI (diisocianato de metilendifenilo) es un sensibilizador respiratorio etiquetado R40 (H351) – sospechoso de causar cáncer.

El MDI se consume químicamente durante el proceso de espumación y por tanto no está presente en el producto final de espuma rígida [8]. Terceros probaron una gama de productos de aislamiento de PU utilizando reconocidos métodos de ensayo para verificar si eran detectables emisiones de MDI (ver el anexo 1). Todos ellos confirman que no hay emisiones de MDI de estos productos.

Con el fin de simular los peores supuestos teóricos, algunos de estos ensayos usaron muestras de espuma flexible de celda abierta, que se comprimieron en intervalos regulares. Otros ensayos usaron espuma rígida de celda cerrada empleando en uno de ellos cubos estancos fabricados de paneles de PU fresco

sin revestimiento para asegurar condiciones de casos extremos. Las ultra-trazas de MDI solo podían medirse para espuma PIR recién cortada. Sin embargo, con <30 ng/m³, los niveles estuvieron muy por debajo de los niveles de exposición a los que podrían esperarse efectos sobre la salud humana. Después de 24 horas no pudieron detectarse emisiones de MDI para la espuma de PUR/PIR.

Los límites de cuantificación fueron tan bajos como 1,9 ng/m³ (0,0000019 mg). Esto es aproximadamente 26 000 veces inferior al límite de exposición laboral (OEL) típico de 0,05 mg/m³ que es válido para los trabajadores de muchos países de la UE. Este límite no parece relevante para el aire interior pero, sin embargo, se usa a menudo como base para determinar los límites del aire en interiores. Por ejemplo, Finlandia aplica un OEL de 0,035 mg/m³. De acuerdo con los reglamentos de construcción finlandeses [9], el contenido de aire interior en “impurezas en zonas normales no puede ser normalmente superior a 1/10 del OEL”. Al aplicar un límite de exposición de

0,0035 mg/m³, la concentración del aire en el interior para la condiciones del supuesto extremo estaría como mínimo 1 800 veces por debajo de este umbral.

Varios otros planes nacionales aplican un valor de umbral general de OEL/100 or OEL/1 000 para las sustancias clasificadas como carcinógenas y para las que no hay límite de aire interior específico. Incluso entonces el límite de detección reportado está muy por debajo de estos umbrales. Otra fuente para evaluar los riesgos de exposición para la población en general es el "Límite de exposición de referencia

californiano [10], un nivel portado en el aire seguro para la comunidad" que aplica un límite de salud pública de 0,0007 mg/m³ (0,07 ppb v/v). Este es el umbral más estricto actualmente aplicado en todo el mundo. Incluso en este caso, el límite de cuantificación es más de 350 veces menor que el límite de salud pública [11].

Basado en lo anterior, se puede concluir sin ninguna duda que no hay una exposición relevante de los usuarios de edificios al MDI utilizado para fabricar productos de aislamiento. Los resultados de las pruebas antes mencionadas se resumen en el *anexo 1*.

La cuestión de la contaminación microbiana

Además de las sustancias químicas, las esporas de moho y los llamados compuestos orgánicos volátiles microbianos pueden conducir a serios problemas de salud. Este último puede producirse por hongos o por medio del metabolismo de bacterias y puede ser tóxico

o causante de reacciones alérgicas. Al contrario que otros productos de construcción, el aislamiento de PU no es un caldo de cultivo o alimento para moho, bacterias, o insectos y debido a que es un producto de celda cerrada, no puede contener esporas.

La cuestión de la "transpirabilidad"

No pueden lograrse edificios de bajo cero consumo energético sin envueltas herméticas. Los sistemas de ventilación natural o mecánica eficientes se están convirtiendo en indispensables de cara a mantener niveles de humedad en el interior confortables y saludables.

Hay demandas en el mercado con respecto a los beneficios de construcciones "transpirables" en general y en particular de aislamiento "transpirable". Los partidarios de este tipo de demandas advierten de que se acumularía humedad en las estructuras "no transpirables" o edificios que conducen a la condensación superficial. Esto a su vez, conduciría a un crecimiento microbiano (moho, ácaros del polvo) con todas sus consecuencias negativas.

"En realidad, la condensación puede producirse en la capa de aislamiento de paredes o cubiertas si se utiliza un material de baja resistencia al vapor. Gracias a su permeabilidad muy baja, el PU no se verá afectado".

En primer lugar, la mayoría de los científicos rechazan el término "transpirabilidad" ya que no describe una característica física específica, sino que significa varios fenómenos que deben ser evaluados a nivel de edificio.

En realidad, la condensación puede producirse en la capa de aislamiento de paredes o cubiertas si se utiliza un material de baja resistencia al vapor. Gracias a su permeabilidad muy baja, el PU no se verá afectado.

Además, incluso en el peor supuesto (0,5 renovaciones de aire por hora), la ventilación supone el 95% de la transferencia de vapor de una casa con paredes "transpirables" [12]. La renovación de aire en masa (ventilación



Figura 3: Impacto de la eficiencia energética de la directiva de construcción sobre la hermeticidad del edificio (Fuente: TightVent)

prevista más fugas de aire) es al menos 19 veces más importante que la "transpirabilidad" en el control de la humedad portada en el aire, condensación superficial, crecimiento de moho, ácaros del polvo y los consiguientes problemas de salud.

Lo mismo se aplica al efecto de amortiguación de la humedad de los elementos de construcción. La investigación ha demostrado que el aislamiento térmico solo tiene un papel marginal que jugar, ya que el efecto amortiguador se limita principalmente a la capa de recubrimiento en contacto directo con el aire interior [13].

Trabajo con aislamiento de PU

¿Hay riesgos dermales al trabajar con espuma de PU?

La cuestión de la espuma PU in situ

“Una vez se ha curado la espuma, al igual que con otras formas de PU utilizadas en los edificios [...], se considera químicamente inerte. Los niveles de emisiones de VOC y SVOC son entonces comparables a los del aislamiento de PU hecho en fábrica.”

Los contratistas que cortan paneles de PU a medida hechos en fábrica y los instalan entran en contacto directo con la espuma de PU. Por ello, es importante verificar si esto podría dar lugar a un contacto dérmico con MDI.

Se realizó una prueba durante la cual se instalaron filtros en contacto con piezas de espuma flexible en ambos lados durante 5 días a 22 °C y la espuma se comprimió hasta el 75% de su altura original. No hubo derivado detectable de MDI en las extracciones del filtro con un límite de detección de 44 ng/cm² durante cinco días o – migración continua asumida – 9 ng/cm² por día [14]. Este umbral de detección es 80 veces más bajo que el Nivel de exposición diaria admisible (AEL) de 740 ng/cm².

Al aplicar espuma in situ deben observarse requisitos especiales de salud y seguridad y el proyectado solo debe ser ejecutado por aplicadores profesionales debidamente cualificados. Cuando se mezclan y dispensan los dos componentes químicos líquidos, PMDI y el polioliol, el PMDI puede alcanzar concentraciones en el aire por encima de los valores límite de exposición actuales, y deben observarse medidas especiales de seguridad. Durante las aplicaciones sin proyectado a o por debajo de la temperatura ambiente, los niveles de PMDI son inferiores al límite de exposición del lugar de trabajo para un MDI de 0,050 mg/m³, según lo establecido en muchos países de la UE.

Cuando se instala espuma in situ, los aplicadores deben respetar las medidas de protección de seguridad y salud requeridas, lo que incluye el alejamiento inmediato del área de aplicación por parte de los ocupantes y miembros de la población general.

Para minimizar la exposición a vapores,



Figura 4: Espuma de poliuretano a base de MDI en la cámara de ensayos de fatiga dinámica con bombas de muestreo y filtros de muestreo

aerosoles y partículas de PMDI y otros productos químicos durante la aplicación del proyectado y posteriores operaciones, los aplicadores deben llevar equipos personales adecuados tales como sistemas accionados por aire, o sistemas de suministro de aire, guantes, mono de trabajo (p.ej. Tyvek), botas, etc. En cuanto a las máscaras, se deben seguir las instrucciones del fabricante.

PU Europe ha desarrollado directrices de la industria para la instalación segura de espuma proyectada. Las asociaciones y proveedores nacionales pueden proporcionar medidas de seguridad detalladas basadas en estas recomendaciones a nivel industrial [15].

Una vez se ha curado la espuma, al igual que con otras formas de PU utilizadas en los edificios para aislamiento, asientos, colchones, revestimientos de paredes, etc., se considera químicamente inerte. Los niveles de emisiones de VOC y SVOC son entonces comparables a los del aislamiento de PU hecho en fábrica.

Aviso legal

Si bien toda la información y recomendaciones de esta publicación pertenecen a lo mejor de nuestro conocimiento, información y creencia vigente en la fecha de la publicación, nada de lo aquí contenido debe interpretarse como una garantía, expresa o de cualquier otro tipo.

- [1] Directiva de Productos de Construcción (89/106/EEC)
- [2] WI 351009 – Productos de construcción – Evaluación de las emisiones de sustancias peligrosas reguladas de productos de construcción – Determinación de las emisiones en el aire interior
- [3] Comisión Europea, Dirección General de Salud y Consumo: *Promoción de acciones para el aire interior saludable (IAIAQ)*, 2011
- [4] Véanse las secciones 9 (Nachweise) en las EPD en <http://bau-umwelt.de/hp545/Daemmstoffe.htm>

ANEXO 1 Pruebas de emisiones de MDI

Origen	Toma de muestra	Límite de detección	Resultados (parcialmente) como presupuesto
Ensayo en cámara de emisiones sobre espuma rígida de PU Fase 1: Medición de las emisiones, número de OC: 304-EU-ANA, Dr Stephan Konrad, Currenta GmbH&Co KG, 2011	Caja sellada de 64l fabricada de paneles de PIR recién cortados (sin revestimiento); Bordes sellados con cinta libre de emisiones; barrido con flujo de gas nitrógeno	1.9 ng/m ³ (límite de cuantificación) • Técnicas analíticas más sensibles disponibles actualmente	Muestreo de aire: filtros de fibra de vidrio impregnados de dibutilamina (DBA) y ácido acético. "Las investigaciones mostraron concentraciones medibles de MDI monoméricos (28 ng/m ³) para el primer punto de medición" (0:00 hours): "Las muestras tomadas después de varias horas no muestran ninguna concentración significativa de 4,4'-MDI y no hay señal medible para 2,4'-MDI en comparación con las mediciones en blanco. Una repetición después de tres meses de almacenamiento del cubo de PIR no mostró valores significativos".
Ensayo de cámara de emisiones sobre espuma rígida de PU Fase 1: Medición de las emisiones, número de OC: 304-EU-ANA, Dr Stephan Konrad, Currenta GmbH&Co KG, 2011	Caja sellada de 64l fabricada de paneles de PUR (sin revestimiento); Bordes sellados con cinta libre de emisiones; barrido con flujo de gas nitrógeno	1.9 ng/m ³ (límite de cuantificación) • Técnicas analíticas más sensibles disponibles actualmente	Muestreo de aire: filtros de fibra de vidrio impregnados de dibutilamina (DBA) y ácido acético. "A excepción del valor de 1,3 ng/m ³ para 4,4'-MDI después de 24 h no hay concentraciones detectables de MDI monomérico". El valor de 1,3 ng/m ³ está por debajo del límite de cuantificación y por lo tanto no es significativo.
Evaluación del riesgo para los consumidores derivado de la exposición a diisocianato de 4-4'-difenilmetano (MDI) de la espuma de poliuretano, Hans-Dieter Hoffmann, Thomas Schupp, EXCLI Journal 2009;8:58-65, ISSN 1611-2156 (página 60)	Cinco días de antigüedad Espuma flexible de curado en frío a base de MDI	5.4 ng/m ³	"El amortiguador era periódicamente comprimido con 1,2 Hz". "El análisis de MDI se realizó de acuerdo con OSHA 47 (Administración de Salud y Seguridad Laboral de EE.UU., 1989), con algunas modificaciones." "No se pudieron encontrar cantidades detectables en las muestras de aire, con un límite de detección de 5,4 ng/m ³ ".
Informe de evaluación de riesgos de la Unión Europea DIISOCIANATO DE METILENODIFENILO (MDI) n° CAS: 26447-40-5, EINECS N°: 247-714-0 JRC de la Comisión Europea, 2005 (página 81)	Espuma flexible de celda abierta	6 ng/m ³ (emisión) 1 µg/25 cm ² para prueba de contacto	"Durante una prueba de fatiga dinámica, ejecutada durante más de 135 minutos a 40 °C y una humedad relativa del 50%, no se detectó MDI en el aire de la cámara cerrada (límite de detección 6 ng/m ³)." "Durante un ensayo de contacto, cuando los filtros que contienen el agente de derivatización se pusieron en contacto con la superficie de la espuma durante 5 días a 22 °C mientras se comprimían al 75 % de la altura original de la espuma, no se extrajo MDI (límite de detección 1 µg por filtro, que es 1 µg/25 cm ²)".
Institut Bauen und Umwelt e.V.: Declaración de Producto Ambiental – Productos de aislamiento de poliuretano hechos en fábrica (Declaración número: EPD-IVP-20140207-IBE1-DE), 2015 (página 8)	Espuma rígida de celda cerrada (panel de aislamiento)	10 ng/m ³	"Exhalación de isocianato" • Agencia de medición: Fraunhofer Institut für Holzforschung, Wilhelm Klaudivitz Institute WKI • Informe del ensayo, fecha: Informe de ensayo número 861/98 de fecha 7 de diciembre de 1998/IVPU • Resultado: No se detectó liberación de isocianatos en el ensayo en cámara de pruebas de 1 m ³ • Para determinar el MDI se utilizaron cartuchos SUPELCO impregnados con 1-(2-Piridil)-piperazina. La extracción se realizó a través del método OSHA n° 47; el análisis fue a través de HPLC con detección de fluorescencia. El límite de detección es 10 ng/m ³ ."
Estudio y evaluación de la salud de sensibilizadores respiratorios seleccionados en productos de consumo, Ministerio de Medio Ambiente de Dinamarca, Estudio de sustancias químicas en los productos de consumo, n° 82 2007	• Colchón de espuma (espuma flexible de celda abierta) • Colchón de muelles (espuma flexible de celda abierta)	0.2 µg/m ³	"El colchón se situó en el suelo, y el aire se recogió a 25 cm por encima de la superficie durante 7 horas. Durante este tiempo se sentó y caminó sobre el colchón cada media hora." "Todos los ejemplos se volvieron a analizar con el método HPLC 2, que mostró que no había MDI en ninguna de las muestras."

- [5] Comité Científico sobre Toxicidad, Ecotoxicidad y el Medio Ambiente (CSTEE), Opinión sobre los resultados de la Evaluación del riesgo de n-PENTANE, Parte de salud humana (17 de diciembre de 2002)
- [6] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. for Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz „Untersuchungen zur Optimierung und Standardisierung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen“ (IBP-Bericht BBHB 01/2008)
- [7] Institut Bauen und Umwelt e.V.: *Declaración medioambiental de productos de conformidad con ISO 14025: Productos de aislamiento de poliuretano hechos en fábrica* (2010)
- [8] Descriptores de uso REACH
- [9] D2 – Clima interior y ventilación de edificios, reglamentos y directrices 2010
- [10] <http://www.oehha.ca.gov/air/Allrels.html>
- [11] California está considerando actualmente reducir este valor a 0,00008 mg/m³ o 0,08 µg/m³ o 0,008 ppb. Incluso en este caso, el límite de detección sería 40 veces más bajo que este límite propuesto
- [12] Cambridge Architectural Research Ltd. (CAR): *La transferencia de humedad y la importancia de la transpirabilidad en edificios*
- [13] VTT: *Un estudio del concepto de la estructura de edificio transpirable – Efecto de los materiales de aislamiento* (2012)
- [14] Evaluación del riesgo para los consumidores derivado de la exposición a diisocianato de 4-4'-metilendifenilo (MDI) de la espuma de poliuretano, Hans-Dieter Hoffmann, Thomas Schupp, EXCLI Journal 2009;8:58-65, ISSN 1611-2156
- [15] PU Europe: Guía de Seguridad y Salud para Proyección de Poliuretano (2012)