

# Sílice cristalina en explotaciones ferroviarias: la experiencia en Metro Bilbao

**Iñigo Apellaniz González** y **Agustín Galán Martín**

Servicio de Prevención Propio. Metro Bilbao

**José María Rojo Aparicio** y **Luz María Marcos Rico**

Centro Nacional de Verificación de Maquinaria. INSST

*La sílice cristalina está presente en el mundo ferroviario fundamentalmente en ciertas unidades de tren y maquinaria auxiliar, utilizándose en sus sistemas de tracción o frenado de emergencia, y en el balasto de la traza ferroviaria. Sin embargo, cuando se hace una revisión bibliográfica para comprobar el posible efecto nocivo de la sílice en las plantillas de diferentes explotaciones ferroviarias, no se encuentran estudios consistentes al respecto, más allá del efecto descrito en el personal que participa en la construcción original de las infraestructuras ferroviarias (en túneles, especialmente). Por ello, este artículo se centra en analizar la problemática que para el sector ferroviario supone aplicar las recientes modificaciones en la normativa de agentes cancerígenos o mutágenos al incluirse los trabajos que supongan exposición al polvo respirable de sílice cristalina generado en un proceso de trabajo en su ámbito de aplicación.*

## INTRODUCCIÓN

La sílice, o dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), es un mineral que se puede encontrar libre en la naturaleza y que también puede formar parte, entre otros, de un gran número de rocas como granitos, pizarras, arenas, o presentarse acompañando a diversos materiales de extracción como es el caso de la minería del carbón o de distintas explotaciones a cielo abierto. Se trata de un material muy extendido que se comercializa, pero no se fabrica, y cuyo principal

riesgo es el efecto neumoconiótico y/o cancerígeno que la inhalación de su forma cristalina de tamaño respirable (sílice cristalina respirable, SCR) puede causar en nuestros pulmones.

La preocupación que sus efectos perjudiciales generan para la salud se encuentra ratificada por diferentes normativas, como son, entre otras, la Directiva (UE) 2017/2398 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2017, por la que se modifica la Directiva 2004/37/

CE relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos o mutágenos durante el trabajo, el Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo (que traspone la directiva de 2004 y tiene pendiente de incorporar la actualización de 2017) o el Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los

■ Figura 1 ■ Depósito de sílice cristalina de una UT de Metro Bilbao, donde se observa la boquilla para verter la arena de sílice a la vía



riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) concluyó en 1997, que el polvo de SCR inhalado en entornos laborales es cancerígeno. Sus monografías posteriores han ido corroborando que la sílice cristalina, en forma de cuarzo y cristobalita, produce cáncer de pulmón en humanos. El Real Decreto 257/2018, de 4 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro, incluye la SCR en el cuadro de enfermedades profesionales en el Sistema de la Seguridad Social (Grupo 6, Agente R, Subagente 01; esto es, enfermedades profesionales causadas por agentes carcinógenos, polvo de sílice libre, cáncer de pulmón). Sin embargo, dicho cuadro no incluye ninguna tarea vinculada al mundo ferroviario entre las actividades consideradas capaces de producirla.

Por tanto, parece que nos encontramos ante un marco legislativo pensado, principalmente, para su aplicación en trabajos donde ya es habitual y reconocida la presencia de SCR, como pueden ser trabajos en minas, túneles, canteras, galerías, tallado, trituraciones, trabajo con vidrio, porcelanas, abrasivos, moldes o limpieza con chorros de arena, entre otros. En el sector del ferrocarril, la principal pregunta que surge como consecuencia de la publicación de la Directiva (UE) 2017/2398 y la consiguiente normativa nacional que la desarrolle, es: ¿cómo aplicar esta normativa en el ámbito ferroviario?

Para responder a esta pregunta hay que entender por qué la sílice cristalina está presente en este entorno laboral. Las ubicaciones y usos de la sílice cristalina en el mundo ferroviario son fundamentalmente

dos: formando parte de los sistemas de tracción o frenado de emergencia de numerosas unidades de tren (en adelante, UT), sean estas de viajeros o maquinaria pesada de mantenimiento de vía, y como parte del balasto.

### Sistema de frenado

Las UT disponen de arena de sílice en varios depósitos (Figura 1) que, durante las frenadas de urgencia provocadas por diversas causas, vierten la sílice cristalina sobre el carril con el fin de aumentar la fricción y adherencia de la UT a la vía, acortando así la distancia de frenado. La activación del sistema puede derivarse de una actuación voluntaria del personal de conducción, accionando un pulsador ubicado en el pupitre de conducción, o de una acción automática al activarse el freno de emergencia o al detectar el equipo de tracción un deslizamiento o patinaje de las ruedas.

Otras máquinas auxiliares, por ejemplo, de mantenimiento de vía, pueden in-

corporar también este tipo de depósitos de arena sílicea.

### Balasto

El balasto es un material procedente de la trituración de rocas, generalmente de un tipo de rocas ígneas denominadas ofitas. Se utiliza para el asentamiento de la vía (Figura 2), aunque su uso está siendo desplazado por las vías en placa. En función del origen, el porcentaje de sílice cristalina en el balasto puede ser variable. Los procesos de carga y descarga de este material y del bateo<sup>1</sup> (nivelación y alineamiento) de la vía en los procesos de mantenimiento generan nubes de polvo que pueden contener SCR.

### IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO

Teniendo en cuenta las ubicaciones en las que es posible encontrar sílice cristalina en el sector del ferrocarril, así como los

<sup>1</sup> Bateo es el proceso de meter balasto debajo de la traviesa justo en la vertical del riel y dejando el centro de la traviesa sin balasto.

■ Figura 2 ■ Balasto utilizado en determinados tramos de la línea 1 de Metro Bilbao



usos y las operaciones de mantenimiento en las que está implicado este material, se pueden diferenciar diversas situaciones a reflejar en la correspondiente evaluación de riesgos. Los principales escenarios a considerar son aquellos que se derivan de la manipulación directa de la arena de sílice, los que proceden del trabajo en talleres y traza ferroviaria con posible presencia de SCR y, finalmente, aquellos otros de-

rivados del efecto émbolo que producen los trenes al circular por los túneles y que remueven las partículas más finas de arena vertidas en la vía.

### Manipulación directa de sílice

El personal de mantenimiento mecánico-neumático de Metro Bilbao rellena periódicamente los depósitos de las UT

(areneros). La arena es introducida en las UT mediante un sistema de mangueras y pistola similar al de la carga de combustible de un vehículo, pero con una mayor dificultad de acceso al depósito (Figura 3).

### Trabajo en talleres y traza ferroviaria

Las UT producen vertidos del material síliceo, como consecuencia de la activación automática o manual del sistema de frenado de urgencia, con la consiguiente acumulación de polvo en sus diferentes elementos. Al retornar a los talleres con polvo de sílice depositado en los equipos a mantener, este puede entrar en contacto con el personal de mantenimiento que tenga que acceder a dichos elementos.

Por ello, además del personal de mantenimiento mecánico-neumático, encargado de la manipulación directa de la sílice cristalina en la carga de los areneros, sus compañeros de taller, entre otros

■ Figura 3 ■ (a) Tolvas equipadas con dispositivos de carga y (b) Operación de carga de arena de una UT de Metro Bilbao



(a)



(b)

**Tabla 1** ■ Valores habituales de exposición diaria (ED), expresados en mg/m<sup>3</sup>, y del índice de exposición (I) a SCR para los GES definidos por Metro Bilbao

Grupos de Exposición Similar	Año										I más desfavorable	Observaciones
	2016		2017		2018		2019		2020			
	ED	I	ED	I	ED	I	ED	I	ED	I		
Mantenimiento Mecánico Neumático	0,0075	0,1500	0,0048	0,0950	0,0430	0,8600	-	-	-	-	0,1500 *0,8600	Taller Ariz. Durante el arenado. 30 min de exposición aproximadamente 42 veces al año/trabajador. * Fallo en el sistema de aspiración.
	-	-	-	-	0,0045	0,0900	-	-	-	-	0,0900	Taller Ariz. Durante Revisión
	0,0235	0,4700	0,0488	0,9760	0,0067	0,1330	-	-	-	-	0,1330 *0,9760	Taller Sopela. Durante el arenado 30 min de exposición aproximadamente 4 veces al año/trabajador. * Sin sistema de aspiración.
	-	-	-	-	0,0045	0,0900	-	-	-	-	0,0900	Taller Sopela. Durante Revisión.
Mto. Eléctrico Electrónico	0,0170	0,1400	-	-	0,0025	0,0500	-	-	-	-	0,0500 *0,1400	Taller Sopela. * Sin sistema de aspiración.
	-	-	-	-	0,0030	0,0600	-	-	-	-	0,0600	Taller Ariz.
Mto. de Vía	-	-	0,118	2,3600	0,1790	3,5800	-	-	-	-	3,5800	Limpieza de vía: una vez cada 3 meses. 4 h exposición aprox. 2 veces al año cada técnico. Se modifica el procedimiento y se evaluará próximamente.
	-	-	-	-	-	-	0,00001	0,0002	-	-	0,0002	Carga y descarga de balasto.
Mto. Señalización, Comunicación y Control	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0048	0,0960	0,0960	Limpieza de señales y agujas.
	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0230	0,4650	0,4650	Perdida de códigos. (cada técnico: 2 horas: 2 veces al año en el interior y 1 vez en el exterior).

NOTA: Se incluyen algunos índices encontrados en las situaciones más desfavorables.

el personal de mantenimiento eléctrico-electrónico, si bien no intervienen en la carga de arena, se encuentran con polvo de sílice en los bajos de las UT y en los diferentes elementos como bastidores o cajas, considerándose, por tanto, trabajadores potencialmente expuestos.

Asimismo, un tercer grupo de trabajadores, durante tareas de mantenimiento en la traza ferroviaria, se encuentra ocasionalmente con polvo de sílice cristalina de tamaño muy fino que aparece como consecuencia de la fragmentación de los granos de arena vertidos entre el carril y las ruedas.

## Trabajo en línea y estaciones

Finalmente, en las ocasiones en las que este polvo fino se encuentra presente en la traza ferroviaria, el paso de los diferentes trenes genera corrientes de aire, efecto émbolo, que remueven las partículas finas por los túneles y que podrían llegar a ser

una preocupación para la adecuada protección tanto del personal de conducción como de supervisión de estación.

En los tramos de superficie este problema se atenuaría considerablemente por diversas causas, entre las que destacan, por una parte, la dispersión ambiental (dilución de la concentración) de las partículas de SCR debido a encontrarse al aire libre; y, por otra, a que las partículas se filtran entre el balasto o en el tramo de vía en placa, siendo muchas de ellas arrastradas por el viento y otras por las escorrentías de agua cuando llueve.

## EVALUACIÓN DEL RIESGO

El Servicio de Prevención de Metro Bilbao (en adelante, SP-MB) lleva años midiendo la concentración ambiental de SCR en sus instalaciones para determinar la exposición laboral del personal de los puestos afectados. Su presencia es objetiva, dado que compra anualmente varias

toneladas del producto y, gran parte del mismo, acaba finalmente en la vía. Sin embargo, son varios los problemas a los que se enfrenta para llevar a cabo una precisa reevaluación de la exposición a ese polvo respirable de sílice, máxime desde su clasificación como cancerígeno.

Para el grupo de exposición similar (en adelante, GES) formado por los areneros, la evaluación de la exposición a polvo de SCR durante la carga de arena en la UT es relativamente sencilla puesto que las condiciones laborales son conocidas y programadas. Sin embargo, para otros GES definidos con potencial exposición a polvo de SCR, la situación no es tan evidente ni es fácil de caracterizar y evaluar, ya que los trenes expulsan aleatoriamente sus cargas de arena tanto en cantidad como en ubicación, dependiendo de condiciones meteorológicas diversas y a velocidades diferentes, así como en momentos y situaciones difícilmente reproducibles, lo que condiciona enor-

mamente las concentraciones ambientales de SCR que se pueden generar. Además, la frecuencia del servicio de metro determina el movimiento posterior de la nube de polvo en los túneles.

En este caso y para algunos GES, lo más apropiado para medir y verificar la conformidad de la exposición con el valor límite de la sílice cristalina de tamaño respirable,  $VLA-ED^{\circ} = 0,05 \text{ mg/m}^3$ , es considerar la situación más desfavorable que se pueda producir en cada uno de ellos (se están actualizando las evaluaciones de la exposición de los trabajadores siguiendo los criterios recogidos en la Norma UNE-EN 689:2019 a las mediciones de los distintos GES).

Como muestra la Tabla 1, en evaluaciones realizadas con anterioridad al año 2020 los índices de exposición (I) representan perfiles de exposición netamente inferiores al  $VLA-ED^{\circ}$  y la toma de decisiones ha estado asociada tanto al mantenimiento de la situación bajo los parámetros de control establecidos por el SP-MB como a la conformidad de la exposición diaria (ED) de cada GES con el valor límite. Lógicamente, esta metodología de trabajo debe cambiar sustancialmente desde el momento en que se publica la Directiva (UE) 2017/2398 y se incluyen los trabajos que suponen exposición a polvo respirable de sílice cristalina generado en el proceso de trabajo.

Además de la complejidad de sistematizar y precisar los perfiles de exposición de algunos GES, otro reto importante para el SP-MB es lograr la interpretación adecuada de algunos resultados de mediciones higiénicas realizadas cuando muchos de ellos se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado. En este punto, la colaboración de los técnicos del Centro Nacional de Verificación de Maquinaria del Instituto Nacional de Seguridad y Sa-

lud en el Trabajo (CNVM-INSST) está permitiendo avanzar en el estudio y validación de los GES establecidos y conseguir mejorar la calidad de la evaluación de la exposición a SCR en Metro Bilbao.

Por otra parte, a la incertidumbre que generan, en algunos casos, unas mediciones no suficientemente determinantes para la evaluación concluyente de la exposición, se añade el momento de interinidad en el que nos encontramos; es decir: estando a la espera de la transposición de la Directiva (UE) 2017/2398 del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de diciembre de 2017, cuya fecha límite venció el 17/01/2020, y de no saber si el Límite de Exposición Profesional (LEP) se mantendrá en  $0,05 \text{ mg/m}^3$ , como se recoge en el último documento "[Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España](#)" publicado por el INSST, o si se consolidará la transposición del valor límite de la Directiva, de  $0,1 \text{ mg/m}^3$ , y su aplicación a cualquier polimorfo o mezcla de polimorfos de sílice cristalina que pueda contener la fracción respirable del polvo, independientemente de que se trate de cuarzo o cristobalita. No obstante, la entrada en vigor de la modificación del real decreto de agentes cancerígenos o mutágenos implica, independientemente del valor límite que se fije para el polvo de SCR, garantizar que el nivel de exposición de los trabajadores se reduce a un nivel tan bajo como sea técnica y organizativamente posible.

Hay puestos de trabajo que, por ejemplo, ocasionalmente pueden presentar exposiciones cortas a polvo respirable de sílice cristalina, entre los que no se contemplan trabajos de mantenimiento periódico, por breves que pudieran ser, y no se evalúan según la Norma UNE-EN 689:2019, sino que el criterio preventivo recomendado y seguido por el SP-MB es proporcionar toda la protección posible ante esas exposiciones ocasionales,

incluyendo los equipos de protección individual (EPI) adecuados a la tarea. En estos casos, y en ausencia de un valor límite de corta duración ( $VLA-EC^{\circ}$ ), se están evaluando estas exposiciones cortas y ocasionales aplicando los límites de desviación recogidos en el documento "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España" del INSST, anteriormente mencionado.

Teniendo en cuenta los efectos para la salud de la exposición laboral a polvo de SCR, y aunque existen varios métodos y aproximaciones para calcular la frecuencia de las reevaluaciones periódicas, uno de ellos aportado por la Norma UNE-EN 689, en su anexo I, en el que se fijan intervalos para realizar las mediciones en función de la media obtenida de, al menos, seis mediciones de exposición diaria, el SP-MB ha considerado conveniente adoptar un criterio preventivo conservador y cuantificable: reevaluar anualmente, mediante mediciones, todos los GES con potencial exposición a polvo de SCR. Los resultados de estos valores de ED determinarán, en los próximos años, la conveniencia de revisar la periodicidad fijada con este criterio.

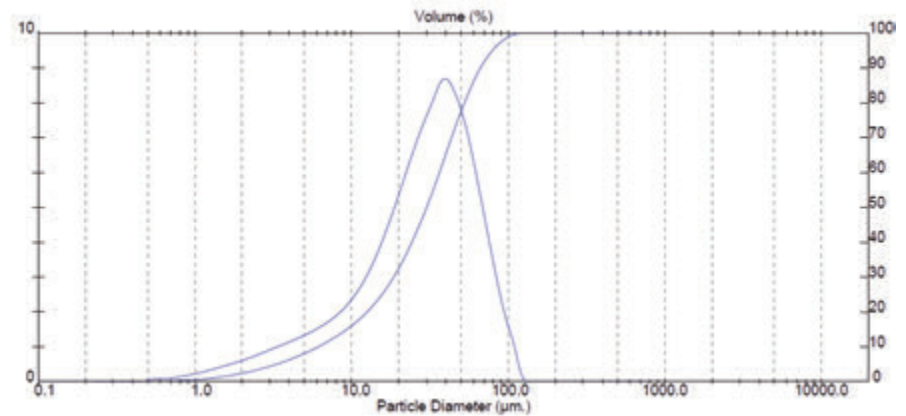
## MEDIDAS DE PREVENCIÓN

### Sustitución de la sílice cristalina por otros materiales

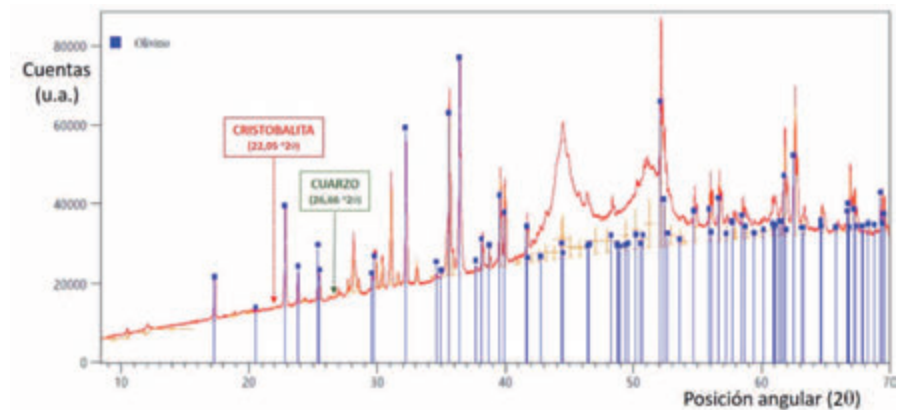
En julio de 2019, el INSST y MB firmaron un acuerdo de colaboración para estudiar el comportamiento de sustancias alternativas a la sílice cristalina en una explotación ferroviaria. Son varios los productos de menor peligrosidad propuestos como sustitutos para dar respuesta, entre otros aspectos, a:

- requerimientos técnicos de las UT: distancia de frenado, degradación de materiales, incidencias de mantenimiento

**Figura 4** a) Distribución de tamaño de partícula obtenida mediante difracción láser, b) Difractograma de rayos X del material triturado



(a)



(b)

NOTA: La figura muestra dónde deberían aparecer los picos principales del cuarzo y de la cristobalita en caso de estar presentes en el material. Esta técnica permite detectar cantidades del orden del 1 % en peso de sílice cristalina.

que se pueden generar, características de aislamiento o conductividad entre UT y vía, etc.;

- requisitos ambientales;
- requisitos de suministro y, fundamentalmente,
- criterios de protección de la salud.

Para ello, se trabaja de manera coordinada con el fabricante de los trenes, en este caso Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles (en adelante, CAF), en la prueba y experimentación con productos alternativos (y de baja toxicidad) que deben superar las pruebas mencionadas. Actualmente, MB y CAF están realizando ensayos con varios productos (Figura 5), entre ellos olivino, bauxita, silicato de calcio y aluminio (Prominent Grit), feldspatos (Ecoblast Fonolito), etc., esperando tener resultados satisfactorios a corto plazo.

El primer material alternativo estudiado ha sido el olivino (silicato de magnesio), sobre el que se han realizado diferentes pruebas de composición y pureza para demostrar que el material comercial está libre de sílice cristalina, así como de la distribución de tamaños de partícula del material de partida y del resultante después de ser sometido al proceso de frenado, en el que se produce la disminución significativa del tamaño de las partículas originales. Los resultados indican que, en las distintas fracciones separadas, las muestras estaban libres de cuarzo (polimorfo mayoritario de la sílice cristalina) y cristobalita y que las composiciones resultantes por tamaño no presentan diferencias entre sí. Estos resultados muestran, asimismo, cómo aproximadamente el 10% en volumen del material recogido en la vía, triturado por fricción entre la UT y la vía y separado posteriormente en el laboratorio por medios mecánicos, tiene un tamaño de partícula inferior a 60 µm y, de este,

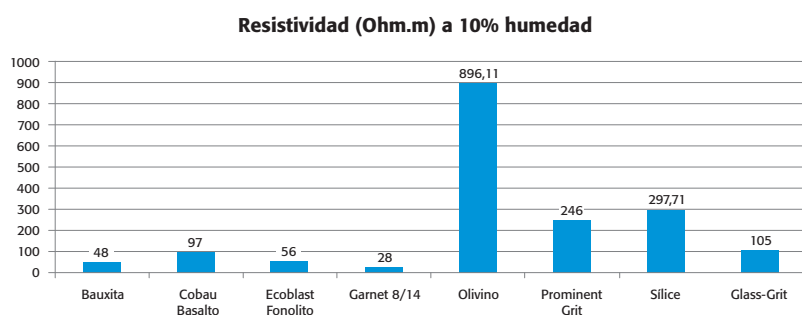
aproximadamente el 17% presenta partículas de tamaño inferior o igual a 10 µm. Las muestras analizadas indican que el 50 % en volumen de las partículas finas separadas por medios mecánicos tienen tamaños inferiores o iguales a 30 µm.

La Figura 4 muestra, a modo de ejemplo, las características dimensionales de la fracción de partículas de tamaño inferior o igual a 100 µm y su composición mediante su análisis por difracción de rayos X. El uso de una malla mecánica de 60 µm ha propiciado que el equipo de análisis de tamaños de partícula (Mastersizer S) del CNVM-INSST, basado en tecnología láser, determine que más del 90% de las mis-

mas presentan un tamaño inferior o igual a 67 µm, lo que representa una separación mecánica de la fracción fina aceptable y una buena aproximación analítica (Figura 4a). El difractograma de rayos X incluido en la Figura 4b muestra, como era de esperar, la presencia de olivino como material mayoritario del polvo recogido en la vía y la ausencia de líneas de difracción en las posiciones angulares correspondientes al cuarzo o a la cristobalita, como principales polimorfos cristalinos de la sílice.

En el caso del olivino, y aunque no se habían concluido las pruebas físico-químicas previstas con la fracción más fina correspondiente a la muestra triturada, se descarta su

**Figura 5 ■ Resistividad de algunos candidatos preseleccionados para sustituir a la arena de sílice en el sistema de frenado de urgencia de las UT de Metro Bilbao**



utilidad como sustituto de la arena de sílice en el sistema de frenado de emergencia de las UT al comportarse como un aislante durante el frenado; es decir: las pruebas mecánicas realizadas en fábrica muestran como el efecto aislante del olivino puede llegar a provocar la falta de detección del tren por parte del sistema de señalización, lo que supondría un grave problema para la seguridad en la circulación. Esta circunstancia, a la que se añade una problemática detectada en los análisis metalográficos, supuso detener el resto de estudios programados y proceder, con todos los candidatos, a considerar también aspectos de resistividad de los materiales, como los mostrados en la Figura 5, antes de proceder a su estudio como material alternativo a la arena de sílice.

**Tabla 2 ■ Granulometría de las arenas utilizadas en el sistema de frenado de urgencia de las UT de Metro Bilbao**

Antigua: Coeficiente de uniformidad medio: A-S25: 2,27				Actual: Coeficiente de uniformidad medio a-grs12-cmb: 1,375			
Su referencia		Arena de sílice cristalina AS-25		Su referencia		Arena de sílice cristalina A-GRS12-CMB	
Ref. GAIKER		A-S25 Réplica 2		Ref. GAIKER		A-GRS12-CMB post silo a tolva Réplica 2	
Tamiz, mm	Pi	Di	Pi x Di	Tamiz, mm	Pi	Di	Pi x Di
D>2,8	0,000	2,800	0,000	D>2,8	0,045	2,800	0,126
2,8>D>2,36	0,020	2,580	0,052	2,8>D>2,36	1,108	2,580	2,859
2,36>D>2	0,155	2,180	0,337	2,36>D>2	15,965	2,180	34,804
2>D>1,7	0,624	1,850	1,155	2>D>1,7	32,480	1,850	60,087
1,7>D>1,4	4,870	1,550	7,548	1,7>D>1,4	36,249	1,550	56,186
1,4>D>1	15,489	1,200	18,586	1,4>D>1	9,590	1,200	11,508
1>D>0,71	7,472	0,855	6,389	1>D>0,71	2,531	0,855	2,164
0,71>D>0,5	13,401	0,605	8,108	0,71>D>0,5	1,318	0,605	0,797
0,5>D>0,2	54,468	0,350	19,064	0,5>D>0,2	0,644	0,350	0,225
0,2>D>0,1	2,952	0,150	0,443	0,2>D>0,1	0,025	0,150	0,004
0,1>D>0,025	0,515	0,063	0,032	0,1>D>0,025	0,035	0,063	0,002
D<0,025	0,035	0,025	0,001	D<0,025	0,010	0,025	0,000
		Suma (Pi x Di)	61,715			Suma (Pi x Di)	168,764
D (mm)	0,62			D (mm)	1,69		
D (µm)	617			D (µm)	1688		

(a) Anterior al año 2013

(b) Posterior al año 2013

■ Figura 6 ■ Instalación de carga de arena en los talleres de Metro Bilbao: a) Boquilla de carga con aspiración incorporada y b) Sistema de filtrado.



(a)



(b)

Actualmente, se están llevando a cabo simultáneamente ensayos mecánicos con otros posibles materiales alternativos y ensayos físico-químicos de pureza y granulometría de las fracciones más finas resultantes de someter a los materiales al proceso mecánico de fricción entre las ruedas y las vías durante el frenado. En el momento de redactar este artículo, el silicato cálcico y la fonolita (feldespato y silicato de alúmina) parecen ser los materiales que, en base a ensayos mecánicos preliminares, presentan más opciones de sustituir a la arena de sílice en el proceso de frenado de las UT.

### Sustitución de los sistemas de freno

Existen otros sistemas de frenado en el mercado, como los frenos por electroimanes y otros en fase de desarrollo; pero la sustitución del sistema de la actual flota de trenes llevaría décadas, por lo que resultará más práctico, a corto plazo, continuar trabajando en la sustitución

de la arena de sílice. A partir de ahora, en la fase de diseño de los trenes, los operadores deberían tener en cuenta la necesidad de gestionar el uso de sílice en los sistemas de frenado.

### Sustitución del balasto

La sustitución podría realizarse por otro tipo de rocas que no contengan sílice cristalina o por el sistema de vía en placa. A pesar de que el coste inicial de la instalación de vía en placa resulta más caro que el de la vía sobre balasto, hay que indicar que esta última requiere mayores costes de mantenimiento periódico, por lo que la sustitución del balasto por la vía en placa, además de una evidente mejora preventiva, resulta rentable a largo plazo.

### Aumento de la granulometría de la arena de sílice

Esta actuación preventiva ha generado un beneficio claro y objetivable

durante la carga de los areneros en los talleres. Es decir: aumentando la granulometría del producto adquirido, este desciende de la tolva a la UT generando menos granos de tamaño fino y reduciendo la posibilidad de generación de polvo respirable (Tabla 2). Sin embargo, se percibe menos el beneficio por el paso del tren sobre la sílice vertida con su consiguiente molienda.

### Aspiración localizada en los talleres

La aspiración localizada ha sido implementada con éxito en los dos talleres de material móvil de Metro Bilbao (Figura 6).

### Modificación en las unidades de tren

Con objeto de reducir la cantidad de arena de sílice empleada, se han modificado las UT para que únicamente



■ Figura 7 ■ a) Equipo de aspiración con filtro HEPA y b) Bidones para recogida de la arena de las vías



(a)



(b)

viertan arena dos de los ejes de cada coche, en lugar de los cuatro posibles. Actualmente, se ha conseguido reducir considerablemente la cantidad de arena vertida en el proceso de frenado de urgencia sin disminuir la seguridad intrínseca del sistema.

Para reducir el número de vertidos de arena, a esta modificación de las UT se le une el uso de una menor cantidad de grasa en la pestaña de las ruedas, lo que evita que los trenes deslicen debido a la acumulación excesiva de grasa en los laterales de los carriles y, de esa forma, no tengan que producirse automáticamente tantas frenadas de urgencia.

Complementando lo anterior, se ha procedido a limitar el aporte de arena durante las frenadas de urgencia, de manera que el sistema deja de verter arena por debajo de 30 Km/h, a no ser que, a criterio del personal de conducción, se considere necesario su vertido manual para la mejora del frenado.

## Vía húmeda y aspiración para la recogida de arena en túneles

En los túneles, periódicamente, pasa un vehículo proyectando un arco de agua a presión para limpiar sus paredes y ese agua se lleva parte del polvo del contorno y del suelo hacia las cunetas existentes en ambos laterales, transportando esta hasta los pozos de bombeo, donde unas bombas extraen el agua de los túneles. Los lodos de los pozos de bombeo se extraen periódicamente.

No obstante, en los túneles existen zonas críticas en las que, debido a las frenadas de urgencia, se acumula entre las vías gran cantidad de arena que es difícil de extraer con la simple proyección de agua a presión. En dichas zonas, la retirada de la arena se realiza mediante un equipo de aspiración ubicado sobre un carro de mantenimiento (Figura 7a), si bien cuando hay espacio suficiente también se recoge con pala, humedecida

previamente con agua. La arena así recogida se introduce en bidones con cierre estanco (Figura 7b).

## Ventilación

Cada estación de túnel dispone a ambos lados de ventiladores de emergencia que, en situaciones de elevada concentración de un gas, de un contaminante volátil o de partículas finas que puedan permanecer en el aire, se ponen en funcionamiento para su extracción inmediata. No obstante, en circunstancias de trabajo normales, los equipos de ventilación utilizados son los llamados equipos EBA (Extracción Bajo Andén). A diferencia de la ventilación de emergencia, el aire extraído por los equipos EBA es filtrado para que salga limpio de polvo al exterior.

## Equipos de Protección Individual

La plantilla de MB está dotada de los EPI necesarios para llevar a cabo su tarea

■ Figura 8 ■ Taquillas exclusivas para la entrega de ropa contaminada y recogida de la ropa limpia



de forma segura, tanto mediante del uso de protección respiratoria FFP3, como de máscaras o gafas panorámicas, guantes y buzos desechables. El personal que participa directamente en las actividades consideradas de riesgo por exposición a polvo de SCR introduce la ropa en taquillas especiales que es recogida por personal de una empresa externa especializada para su limpieza. Una vez lavada, cada persona recibe la ropa limpia en una taquilla personalizada (Figura 8).

### Vigilancia de la salud. Aplicación del protocolo de vigilancia sanitaria específica: silicosis

El SP-MB tiene establecido un programa de vigilancia de la salud de los trabajadores de Metro Bilbao con un doble objetivo, individual y colectivo. Es decir: lleva a cabo la vigilancia del estado de salud de sus trabajadores tanto al inicio de la actividad como tras una ausencia prolongada por motivos de salud y, en condiciones normales, cada tres años realiza el preceptivo reconocimiento médico periódico. La información recopilada en el programa junto con la interpretación de los datos obtenidos como conjunto, permite al Servicio de Prevención conocer y mantener una vigilancia colectiva de la salud.

La historia clínico-laboral de cada trabajador o trabajadora se completa, por una parte, con datos de exploración médica, de antecedentes y sintomatologías compatibles con la exposición a SCR, de radiografías de tórax y espirometrías, etc., y, por otra, con datos relacionados con el puesto de trabajo, tiempos de exposición, medidas de prevención y control implementadas, etc. En los 25 años de funcionamiento de Metro Bilbao no se ha detectado ninguna patología asociada a la exposición a polvo de SCR.

No hay duda de la necesidad de llevar a cabo la vigilancia de la salud del personal que está expuesto a la sílice cristalina. Sin embargo, cuando la exposición es teórica (hipótesis basada únicamente en el uso de material síliceo en determinadas secciones de la empresa) y no detectable o difícilmente detectable, cabe la duda razonable sobre la conveniencia de realizar pruebas radiológicas al personal que, no estando en situación de potencial riesgo por exposición a polvo de SCR, podría sufrir el riesgo de la irradiación, que puede resultar mayor que el de la posible exposición a sílice cristalina.

### LÍNEAS DE ACTUACIÓN EN DESARROLLO

Las líneas de trabajo que se están realizando en el marco de la colaboración entre el INSST y MB van dirigidas, por una parte, al estudio de la viabilidad de la sustitución de la arena de sílice en el sistema de frenado de las UT por alguno de

los materiales alternativos seleccionados por MB de acuerdo con CAF; y, por otra, a profundizar en la caracterización de las exposiciones a SCR de los diferentes GES, mejorando con ello la acción preventiva e identificando de forma fehaciente los puestos de trabajo que podrían llegar a clasificarse como de no exposición.

Para esto último, la puesta en común de los resultados obtenidos en muestreos ambientales de los puestos de trabajo donde podría existir discusión sobre la potencial exposición laboral a polvo de SCR, junto con los datos de muestreos ambientales realizados en las distintas zonas de MB, y en el exterior, aprovechando los nuevos criterios estadísticos recogidos en la Norma UNE-EN 689, pueden proporcionar criterios o recomendaciones que ayuden a diseñar estrategias de muestreo que permitan concluir sobre la exposición laboral a SCR en el sector ferroviario y a determinar, de esa forma, los trabajadores potencialmente expuestos.

El resultado de esta investigación formará parte de una publicación más extensa en la que algunos de los aspectos analizados, no exclusivos de la exposición

a polvo de SCR, son retos que se deben afrontar y concertar a corto plazo teniendo en cuenta la inminente modificación del Real Decreto 665/1997 y los cam-

bios que se están produciendo como consecuencia de las modificaciones de la directiva de cancerígenos y/o mutágenos publicadas desde 2017. ●

## ■ Bibliografía ■

- Real Decreto 257/2018, de 4 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro. BOE núm. 109, de 5 de mayo. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-6046>
- Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT), O.A., M.P., 2017. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos o mutágenos durante el trabajo. Ref. GT.109.1.17. NIPO (en línea): 272-17-025-4. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/203536/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+la+exposici%C3%B3n+durante+el+trabajo+a+agentes+cancer%C3%ADgenos+o+mut%C3%A1genos/3123850f-f2a6-4f7d-ba66-20203161b38e>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2013. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo. Ref. GT.114.2.13. NIPO 272-13-045-X. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/203536/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+los+agentes+qu%C3%ADmicos+relacionados+con+los+lugares+de+trabajo/7ff71954-0742-4cf4-bc30-7a9ffea37429>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014. *Occupational exposure to crystalline silica related to lung cancer: scientific evidence synthesis*. Ref. ET.128.2.14. NIPO (online) 272-14-071-8. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/514312/%20Crystalline+silica+related+to+lung+cancer/5f373975-a837-4422-8bc3-7d5d2d4d5e0e>
- Ministerio de Sanidad, 2020. *Protocolo de vigilancia sanitaria específica: Silicosis*. NIPO 133-20-034-2. Disponible en: <https://www.msbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/silicosis.pdf>
- Norma UNE-EN 689:2019 Exposición en el lugar de trabajo. Medición de la exposición por inhalación de agentes químicos. Estrategia para verificar la conformidad con los valores límite de exposición profesional.
- Norma UNE-EN 16185-1:2015 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de frenado para unidades autopropulsadas. Parte 1: Requisitos y definiciones.
- Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, 2012. *Silica Dust, Crystalline, In the Form of Quartz or Cristobalite, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 100C*. Lyon, France: World Health Organization. Disponible en: <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-14.pdf>
- Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA). *Silica, Crystalline*. Washington, DC: U.S. Department of Labor. Disponible en: <https://www.osha.gov/dsg/topics/silicacrystalline/index.html>
- Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), 2019. *Silica, Crystalline (as respirable dust), NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards*. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npqd0684.html>
- The London Underground: dust and hazards to health. A Seaton, J Cherrie, M Dennekamp, K Donaldson, J F Hurley, C L Tran. *Occup. Environ. Med.* 62, 355-362 (2005). doi: 10.1136/oem.2004.014332.
- Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales (OSALAN), 2012. Protocolo de vigilancia de la salud específica: ruido y silicosis y otras neumoconiosis. Disponible en: <https://www.osalan.euskadi.eus/libro/protocolo-de-vigilancia-de-la-salud-especifica-ruido-y-silicosis-y-otras-neumoconiosis/s94-contpub/es/>
- Procedimiento para el Arranque de ventiladores durante trabajos de mantenimiento que generan polvo, vapores, gases y humos contaminantes. Metro Bilbao 07-SP-PR-364. Versión 3, 23/05/2016.
- Procedimiento para la realización de la Vigilancia de la Salud según los protocolos específicos Metro Bilbao. 16-SP-PR-006. Versión 1, 11/03/2019.
- Requisitos de interoperabilidad de la Agencia Ferroviaria Europea (ERA), ERA/ERTMS/033281 de 2018. *Interfaces between Control-Command and Signalling Trackside and other subsystems*.
- Moreno, T., 2017. *Improving air quality in the subway environment. TECHNICAL GUIDE*. Institute for Environmental Assessment and Water Studies (IDEA) © 2017. ISBN 978-84-697-5167-1.
- Rojo, J.M., 2012. Mecanizado de aglomerados de sílice: factores a considerar para la evaluación del riesgo. X Congreso Internacional de Prevención de Riesgos Laborales, ORP 2012. [www.orpconference.org](http://www.orpconference.org). ISBN 978-84-615-7900-6.
- Porcel, J. y Rojo, J.M., 2015. Consideraciones para la evaluación de la exposición a sílice cristalina: límites de exposición profesional y métodos normalizados de análisis. Seguridad y Salud en el Trabajo, 85, 34-43 (2015).
- Sanz, J.L. y Rojo, J.M., 2018. Nuevo enfoque en la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos. Revisión de la Norma EN 689. Seguridad y Salud en el Trabajo, 95, 10-17 (2018).