

Mecanizado de aglomerados de sílice: factores a considerar para la evaluación del riesgo



Dr. Rojo Aparicio, José María

Departamento de Contaminantes y Toxicología (CNVM- INSHT).
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
Camino de La Dinamita s/n. 48903, Baracaldo-Bizkaia. España
+34 94 499 02 11 / jrojoapa@meyss.es

ABSTRACT

La aparición de nuevos casos silicosis en marmolerías se asocia a la inhalación del polvo procedente del mecanizado de aglomerados de sílice. Para contribuir a la evaluación de este riesgo se ha realizado en el Laboratorio de Rayos X del CNMV-INSHT un estudio sobre composición y tamaños de partícula del polvo generado en estas actividades. Se han analizado materiales procedentes de 15 marmolerías del País Vasco confirmándose que todos contienen cuarzo y que, en su mayoría, incorporan cristobalita. El 10-15 % en peso del polvo procedente del corte y pulido corresponde a fracción respirable. Asimismo, aproximadamente el 45 % de las partículas que componen esta fracción son partículas con diámetro inferior a 1,55 μm observándose que la cristobalita parece concentrarse en las partículas más pequeñas. Es necesario considerar estos resultados para elegir el muestreador de polvo apropiado al tamaño de partícula y utilizar la metodología analítica que permita cuantificar las variedades presentes para no infravalorar las concentraciones de sílice cristalina en aire.

Palabras clave.

Sílice, marmolerías, tamaño de partícula, cuarzo, evaluación

INTRODUCCIÓN

El material elaborado a base de arenas de sílice y otros componentes como vidrios, feldspatos, colorantes, etc., unidos y compactados por medio de resinas acrílicas o de poliéster que proporcionan la solidez y resistencia deseada se conoce habitualmente como aglomerado de cuarzo. En este estudio se emplea el término aglomerado de sílice ya que en estos materiales pueden estar presentes otras variedades de sílice cristalina además del cuarzo, aunque éste sea el componente mayoritario [1,2].

En el verano de 2008, el Instituto Valenciano de Seguridad y Salud Laboral (INVASSAT) puso de manifiesto una inesperada aparición de casos de silicosis en marmolerías de la Comunidad Valenciana y emitió una alerta para la protección de la salud de los trabajadores que realizan operaciones de mecanizado (corte y pulido) de tablas de aglomerados de sílice tanto en los talleres de elaboración de piezas como durante su instalación y ajuste en obra [3]. Esta situación de riesgo se está observando también en otras Comunidades Autónomas por lo que actualmente es considerado un riesgo emergente. En consecuencia, se ha empezado a actuar a todos los niveles con el objetivo de evaluar el riesgo de exposición a sílice cristalina en estas actividades e implantar un conjunto de medidas preventivas eficaces.

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio realizado en empresas que trabajan con aglomerados de sílice en el País Vasco, mayoritariamente marmolerías y talleres de piedra natural y artificial. La determinación de las variedades (polimorfos) de sílice y el estudio de los tamaños de partícula del polvo generado durante las operaciones de corte, pulido y acabado de dichos aglomerados ha permitido establecer algunos factores que se consideran relevantes para la identificación, evaluación y control del riesgo.

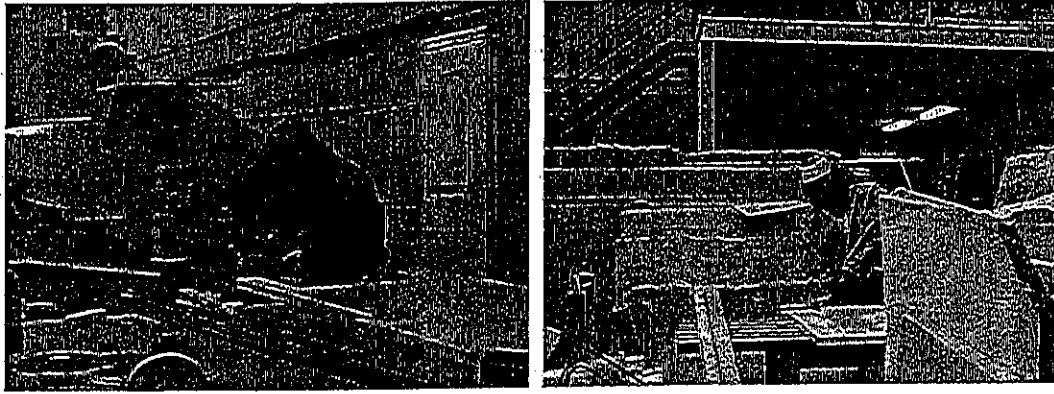
DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

La evaluación del riesgo de exposición a sílice cristalina requiere una determinación fiable de la concentración ambiental a la que puede estar expuesto el trabajador. Para ello, es necesaria una adecuada elección del muestreador y de la metodología analítica a emplear, además de otras consideraciones comunes a cualquier agente químico como, por ejemplo, la estrategia de muestreo. Con este fin, se ha investigado: i) la composición de los materiales que se trabajan, ii) la cuantificación de los polimorfos de la sílice en la fracción respirable presente en el polvo del mecanizado y iii) la masa y distribución de tamaños de las partículas de sílice cristalina suspendidas en el aire del ambiente laboral.

En el estudio se han analizado muestras del polvo desprendido en las operaciones de mecanizado de diferentes aglomerados de sílice y otras piedras naturales y artificiales (véase figura 1), muestras de polvo depositado en distintas superficies (suelos, maquinaria, mesas, pasillos, almacén...) y muestras ambientales tomadas en el interior de los talleres. Las muestras proceden de 15 empresas que trabajan con diversos tipos y modelos de materiales artificiales de los fabricantes más importantes del sector (Silestone, Compac, Caesartone, Okite...).

Aproximadamente el 80 % de los materiales que se trabajan en estos talleres corresponden a aglomerados de sílice lo que revela el auge adquirido por estos productos en los últimos años como alternativa al mármol y al granito. El granito, nacional o de importación, ha quedado relegado a un segundo plano aunque sigue siendo el material más utilizado dentro del grupo de las piedras naturales.

Figura 1. Operaciones de mecanizado (corte y pulido) de aglomerados de sílice.

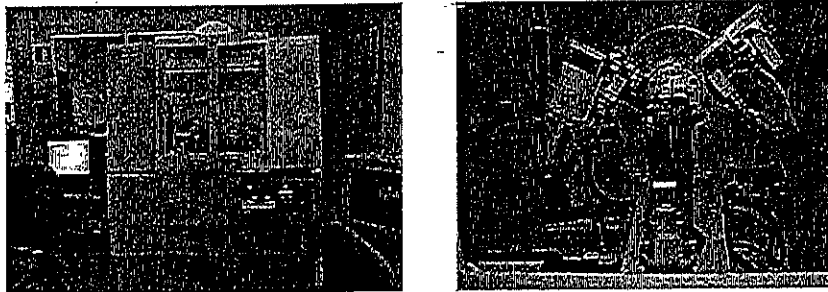


METODOLOGÍA

1. Caracterización estructural del polvo de mecanizado

La caracterización estructural de estos materiales y su contenido en los distintos polimorfos de la sílice cristalina (cuarzo, cristobalita y tridimita) se ha realizado mediante difracción de rayos X en muestra policristalina utilizando el difractómetro PANalytical X'Pert Pro con geometría de Bragg-Brentano mostrado en la figura 2 y equipado con anticátodo de cobre y detector ultrarrápido. Para mejorar la resolución estructural, las medidas se llevaron a cabo en el intervalo angular de 5° a 90° (2θ), con un incremento angular de $0,02^\circ$ y un tiempo de adquisición de datos de 2 segundos por paso.

Figura 2. Difractómetro de rayos X del Centro Nacional de Verificación de Maquinaria del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (CNVM-INSHT) equipado con cargador automático para muestras policristalinas y detector ultrarrápido.



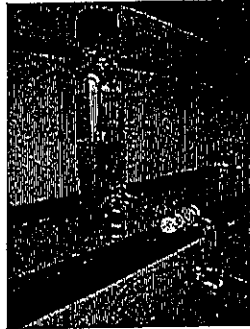
2. Separación de la fracción respirable del polvo de mecanizado

La fracción respirable presente en el polvo recogido de las operaciones de mecanizado y del polvo depositado en superficies se obtuvo en el laboratorio mediante sedimentación en vía húmeda por efecto de la gravedad [4]. Para la separación de dicha fracción se ha utilizado la pipeta Andreasen de la figura 3, considerándose la densidad del cuarzo (ρ_{cuarzo}) y el diámetro de Stokes (d_{Stokes}) los principales factores a tener en cuenta en la separación cuantitativa de las partículas con diámetro aerodinámico (d_{aerod}) inferior a $10 \mu\text{m}$. Así, el diámetro de Stokes correspondiente a partículas de cuarzo de diámetro aerodinámico de $10 \mu\text{m}$ es $\approx 6 \mu\text{m}$ y se obtiene a partir de la expresión: $d_{\text{Stokes}} = (d_{\text{aerod}}^2 / \rho_{\text{cuarzo}})^{1/2}$.

El tiempo necesario para su separación se ha calculado a partir de la ecuación (1) donde η es la viscosidad del agua, h la altura de la pipeta, ρ la densidad, d el diámetro de Stokes y g la gravedad [4,5].

$$t = \frac{18\eta h}{(\rho_{\text{cuarzo}} - \rho_{\text{agua}}) d_{\text{Stokes}}^2 g} \quad (1)$$

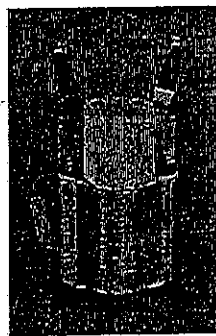
Figura 3. Vista de la pipeta de sedimentación tipo Andreasen utilizada para la separación de la fracción respirable del polvo del mecanizado generado en el trabajo con aglomerados de sílice.



3. Toma de muestras ambientales

Las muestras se captaron empleando un impactador de cascada de 9 etapas, figura 4, utilizado en muestreos ambientales. Este muestreador aprovecha las fuerzas de inercia que se producen al pasar aire por su interior y es capaz de separar las partículas por tamaño en función de su diámetro aerodinámico. Los puntos de corte en las diferentes etapas son: etapa 1, 21,3 μm ; etapa 2, 14,8 μm ; etapa 3, 9,8 μm ; etapa 4, 6,0 μm ; etapa 5, 3,5 μm ; etapa 6, 1,55 μm ; etapa 7, 0,93 μm ; etapa 8, 0,52 μm y etapa 9, < 0,52 μm . Las partículas separadas en cada etapa corresponden a intervalos definidos de tamaño de partícula y se depositan en un filtro de membrana adecuado para su posterior análisis. La fracción respirable es recogida entre las etapas 4 a 9, ambas inclusive, y es la considerada en este estudio.

Figura 4. Impactador de cascada de nueve etapas, modelo Marple 298, utilizado para el muestreo del aire de la zona de trabajo con aglomerados de sílice.



4. Determinaciones analíticas

Las cantidades de los polimorfos de la sílice cristalina fueron determinadas, tanto en las muestras ambientales como en las que corresponden a las muestras de polvo de

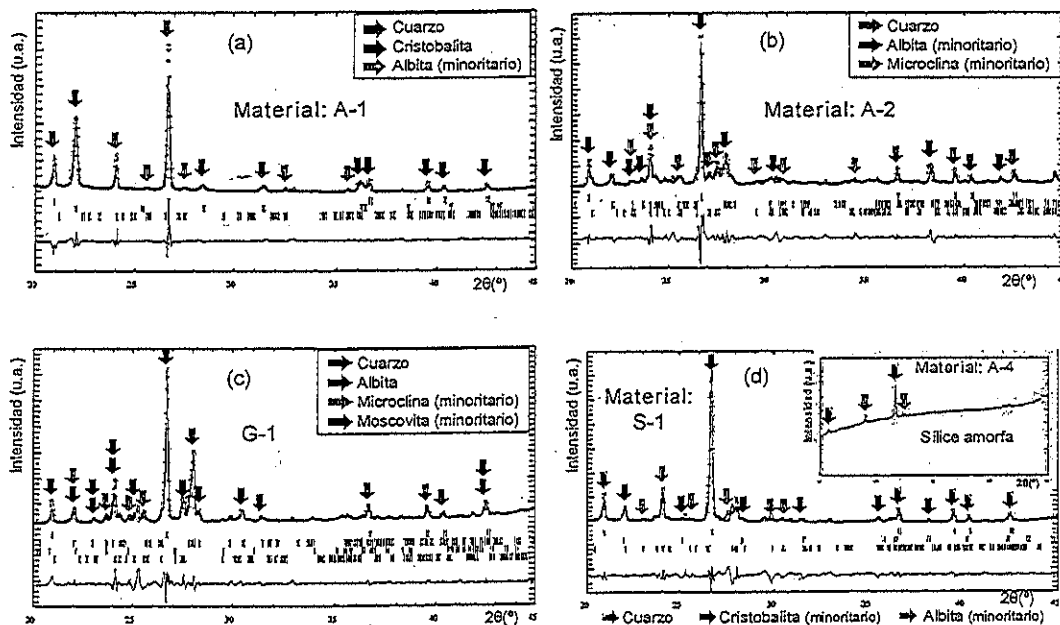
mecanizado, con el mismo equipo de difracción, utilizando el software de cuantificación (X'Pert Industry) incorporado al difractómetro y siguiendo el procedimiento del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) descrito en el método de toma de muestra y análisis MTA/MA-056/A06 [6].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Composición y porcentaje de sílice cristalina en el polvo de mecanizado

El análisis del perfil completo de cada diagrama de difracción (análisis *pattern matching*), realizado mediante el programa FULLPROF [7] y mostrado en la figura 5 entre 20° y 45° (2θ) para mejor visualización, ha permitido determinar, a partir de los parámetros de celda y grupo espacial recogidos en la base de datos internacional de sustancias cristalinas (PDF-2: Powder Diffraction Files) [8], los componentes principales de los materiales analizados. En esta figura se representan los afinamientos finales de materiales procedentes de piedras naturales, artificiales y del polvo de superficie donde se han marcado los picos asociados a cada fase cristalina presente. Las líneas verticales representan las posiciones angulares de los máximos de difracción de las principales fases cristalinas.

Figura 5. Diagramas de difracción de rayos X (experimental, calculado y diferencia) para los materiales policristalinos representativos de la mayoría de materiales analizados: (a) A-1, (b) A-2, (c) G-1 y (d) S-1 entre 20° y 45° (2θ). El recuadro de la figura (d) recoge el difractograma del material A-4 que presenta una importante proporción de componente amorfo.



En las figuras 5(a) y 5(b) se muestran los difractogramas característicos del polvo generado en las operaciones de mecanizado de dos tipos de aglomerados de sílice utilizados frecuentemente. En uno de ellos, figura 5(b), se ha encontrado mayoritariamente cuarzo y en proporción minoritaria feldespatos como la albita y la microclina mientras que en el primer caso [figura 5(a)] es de resaltar que, además de cuarzo, se ha encontrado un contenido importante de cristobalita.

Con fines de comparación, en la figura 5(c) se presenta la caracterización estructural de un granito nacional en el que la única variedad de sílice encontrada es cuarzo y donde también se observan, en su composición, feldespatos y filosilicatos. El ajuste final del afinamiento no muestra la presencia de cristobalita ni se han encontrado diferencias importantes con otros granitos de importación analizados. La figura 5(d) corresponde a polvo de superficie recogido en una zona próxima a la de mecanizado y que presenta la misma composición (cuarzo, cristobalita y albita) que el polvo generado en estas operaciones, ya mostrado en la figura 5(a). Finalmente, en la figura 5(d) se ha insertado el diagrama de rayos X de uno de los nuevos modelos de aglomerados, denominado Eco, cuyo contenido mayoritario es sílice amorfa pero en el que también se ha detectado cuarzo.

En la tabla 1 se proporcionan datos sobre la composición de las muestras más representativas. Es de señalar que no se ha detectado la presencia de tridimita, polimorfo cristalino de la sílice, en ninguna de las muestras de piedras naturales ni artificiales analizadas, aunque esta tabla no pretende ser un resumen exhaustivo de todos los materiales comerciales existentes.

Tabla 1. Composición cualitativa del polvo recogido en las operaciones de corte y pulido de piedras naturales y artificiales y del polvo depositado en superficies próximas a la zona de mecanizado.

TIPO DE MATERIAL		COMPOSICIÓN	
		MAYORITARIO	MINORITARIO
NATURAL	Granito	cuarzo	albita, microclina y moscovita
	Marmol	calcita	cuarzo, albita y microclina
ARTIFICIAL (*)	Silestone	cuarzo	cristobalita y albita
	Compac quartz	cuarzo	albita y microclina
	Eco-silestone	sílice amorfa	cuarzo y albita
	Okite	cuarzo	cristobalita y albita
	Quarella quartz	cuarzo	cristobalita
	Caesartone	cuarzo	cristobalita
	Roxton	óxido-hidróxido de aluminio	cuarzo y otros silicatos
POLVO SUPERFICIAL	Polvo depositado (suelos, maquinaria, mesas, almacén...)	cuarzo	cristobalita
		cuarzo	cristobalita y albita
		calcita	cuarzo
		cuarzo	calcita y albita

(*) La composición de algunas piedras artificiales puede variar en función del modelo comercializado.

En la tabla 2, los porcentajes de cuarzo y cristobalita obtenidos en el polvo procedente del mecanizado y en su fracción respirable se muestran agrupados por fabricante. En todos ellos se observan porcentajes elevados de cuarzo excepto en el material nº 4 donde el componente mayoritario es amorfo, como se mostró gráficamente en el difractograma del recuadro de la figura 5(d). Asimismo, los materiales 3 y 4 (contenido total de sílice cristalina inferior al 40 %) corresponden a patentes o modificaciones recientes de la composición en las que se ha reducido el cuarzo y la cristobalita añadiendo variedades amorfas de la sílice. Como se puede observar, los contenidos en cristobalita pueden ser muy variados desde porcentajes inferiores al 3 % hasta otros cercanos al 20 % en peso.

Tabla 2. Porcentajes de cuarzo y cristobalita en el polvo de mecanizado y en su correspondiente fracción respirable, obtenidos por difracción de rayos X en una selección de aglomerados de sílice (cada color incluye materiales de un mismo fabricante).

FABRICANTE	MATERIAL	POLVO DE MECANIZADO			POLVO DE MECANIZADO FRACCIÓN RESPIRABLE			
		(%) Cuarzo	(%) Cristobalita	(%) Si total	(%) Paso	(%) Cuarzo	(%) Cristobalita	(%) Si total
1	1	24	28	52	12	19	10	29
	2	50	10	60	9	7	2	10
	3	18	19	37	14	34	31	65
	4	3	4	7	4	< LD	< LD	2
2	5	56	9	65	15	54	3	55
	6	4	24	28	15	37	16	53
3	7	4	24	28	15	37	16	53
4	8	70	3	73	8	62	< 2	62
	9	90	< 2	90	8	62	< 2	62

SC: Sílice Cristalina

2. Fracción respirable en las muestras del polvo de mecanizado

La fracción respirable del polvo que se desprende del mecanizado supone un porcentaje en peso comprendido entre el 8 % y el 15 % aproximadamente, como se muestra en la tabla 2. Es de destacar nuevamente la presencia de cristobalita en la fracción respirable aunque el cuarzo sigue siendo el componente mayoritario. Por otra parte, no se aprecia ninguna tendencia en cuanto a la relación cuarzo-cristobalita en las muestras analizadas.

En la muestra nº 4 se observa que el porcentaje total de sílice cristalina (cuarzo + cristobalita) en el polvo es bajo (< 10 % en peso) mientras que en la fracción respirable este porcentaje se incrementa considerablemente (65 %). Este incremento sugiere que las partículas de cuarzo y cristobalita son de pequeño tamaño y están asociadas, fundamentalmente, a la fracción respirable. En el material nº 5, no fue posible obtener valores por encima del límite de detección del método [6], lo cual puede ser debido a la poca cantidad de muestra disponible y al porcentaje tan pequeño de su fracción respirable, próxima al 4 %. Finalmente, el contenido en cristobalita en los materiales 8 y 9, tanto en el polvo total como en su fracción respirable, se puede considerar minoritario.

3. Fracción respirable en muestras ambientales

La toma de muestra de las partículas en suspensión en el aire del ambiente de trabajo se ha realizado utilizando el impactador de cascada de 9 etapas descrito en el capítulo de metodología. La cantidad de polvo recogido en el filtro asociado a cada etapa de separación se ha determinado gravimétricamente y su contenido en sílice cristalina mediante difracción de rayos X. Los resultados se recogen en la tabla 3 y están representados en la figura 6.

La tabla 3 presenta los intervalos por tamaño de partícula de la fracción respirable que corresponden a las distintas etapas de separación del muestreador. Para cada una de ellas, se indica el peso del polvo recogido en el filtro correspondiente y la cantidad y porcentaje de cuarzo y cristobalita en el mismo. En la figura 6 se pueden observar los máximos de difracción del cuarzo y de la cristobalita obtenidos en las distintas etapas.

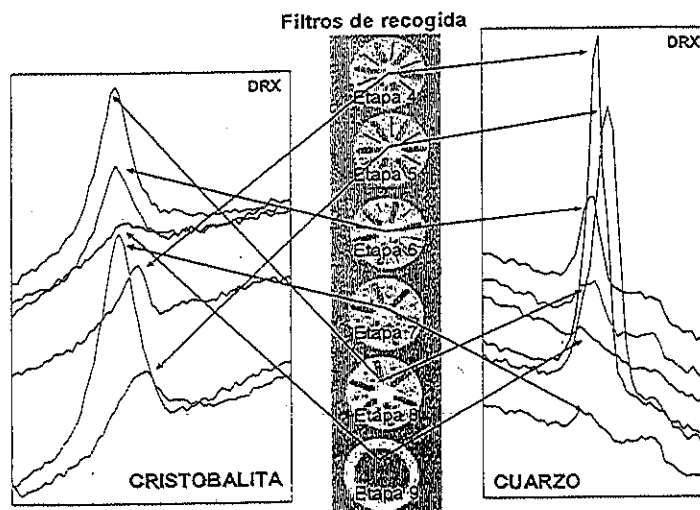
Tabla 3. Cantidades de polvo, cuarzo y cristobalita (en microgramos) recogidas en las etapas 4 a 9 del impactador de cascada Marple 298. Se ha incluido el porcentaje de cada polimorfo con respecto a su correspondiente etapa o intervalo de tamaño de partícula.

Muestra	Etapa	IMPACTADOR		CUARZO		CRISTOBALITA	
		Diámetros aerodinámicos (µm)	Poavo recogido (µg)	µg	% (µg/µg polvo)	µg	% (µg/µg polvo)
1	4	9,8 - 6,0	79	36	46	13	14
	5	6,0 - 3,5	108	45	42	14	13
	6	3,5 - 1,55	261	32	6	19	9
	7	1,55 - 0,93	208	3	2	42	20
	8	0,93 - 0,52	150	4	3	31	24
	9	< 0,52	< 10	3	3	9	3
2	4	9,8 - 6,0	12	45	40	10	9
	5	6,0 - 3,5	127	46	36	15	12
	6	3,5 - 1,55	167	10	6	15	8
	7	1,55 - 0,93	101	3	3	25	14
	8	0,93 - 0,52	110	3	3		
	9	< 0,52	63				

(*) Para análisis por microscopía electrónica

Como parece derivarse de los resultados gravimétricos encontrados, un porcentaje elevado de las partículas que componen la fracción respirable, ~ 46 % en peso, presentan diámetros aerodinámicos inferiores a 1,55 µm, porcentaje que se eleva al 70 % al considerar las partículas ≤ 3,5 µm. En este sentido, los resultados del análisis de los filtros de las distintas etapas revelan que los porcentajes de cuarzo tanto entre las partículas menores de 1,55 µm como entre las menores de 3,5 µm son inferiores al 3 % en peso mientras que, para estos mismos tamaños de partícula, la cristobalita alcanza porcentajes superiores al 10 %.

Figura 6. Representación gráfica de los máximos de difracción del cuarzo y de la cristobalita obtenidos en las etapas 4 a 9 del impactador (muestra 1) correspondientes a la fracción respirable del polvo ambiental.



Como se observa en la tabla 3, la cantidad de cuarzo se reduce al disminuir el tamaño de las partículas dentro de los intervalos de la fracción respirable mientras que, por el contrario, la cantidad de cristobalita aumenta. Esto sugiere que las partículas más pequeñas de la fracción respirable de las muestras ambientales tomadas en el interior de los talleres parecen corresponder mayoritariamente a la cristobalita. Se trata, por tanto, de un hallazgo importante que debería tenerse en cuenta en la elección del muestreador y de la técnica de análisis a emplear para la determinación de sílice cristalina en la evaluación de la exposición en estas actividades.

CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACION DE LA EXPOSICION LABORAL A SILICE CRISTALINA EN EL TRABAJO CON AGLOMERADOS DE SILICE

Toma de muestra (muestreo personal)

La guía europea para el muestreo de fracciones de aerosol CEN/TR 15230 [9] recoge algunos muestreadores de la fracción respirable que pueden ser utilizables para muestreos personales, indicando que es responsabilidad del usuario elegir el sistema de muestreo (selector, elemento de retención y bomba de aspiración) que mejor se ajuste a sus necesidades y objetivos (véase tabla 4).

Teniendo en cuenta los resultados encontrados en este estudio sobre la distribución de tamaños de partícula en aire, donde se observa un porcentaje importante de partículas (~ 70 %) con diámetros aerodinámicos inferiores a 3,5 micrómetros, la elección debería recaer en el muestreador de la fracción respirable que mejor se ajuste a la parte del convenio que corresponde a los diámetros aerodinámicos más pequeños.

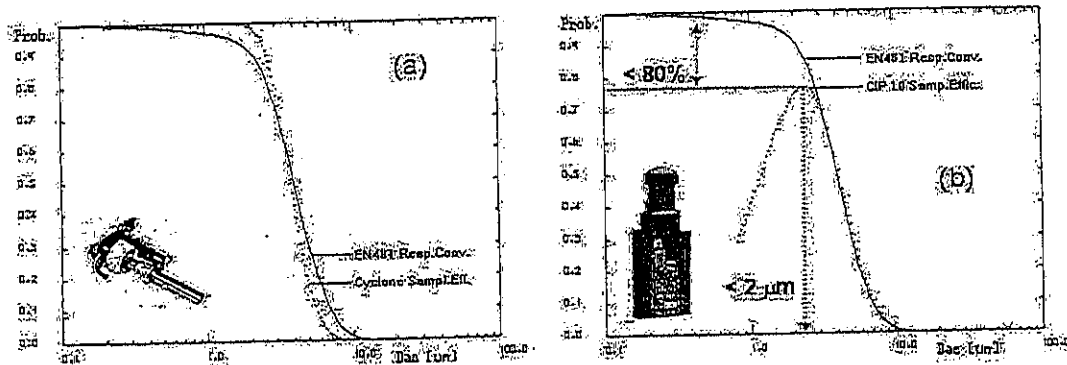
Tabla 4. Muestreadores de la fracción respirable que cumplen los requisitos y especificaciones de la norma europea EN 13205 [10], alcanzando una exactitud igual o inferior al 30 % del valor del convenio promediada para todas las direcciones del viento.

MUESTREADOR	CAUDAL (l/min)	ELEMENTO DE RETENCION	FABRICANTE
OM Multifracción	2	Espuma	SKC
CIP 10-R	10	Espuma	ARECO
GK269	4,2	Filtro	SIBGI
SIMPEDS	2,2	Filtro	CASELLA
Respicon	3,1	Filtro	HUND
Ciclón de aluminio	2,5	Filtro	SKC
Ciclón de plástico conductor	2,2	Filtro	SKC
GS-1	2,0	Filtro	SKC
GS-3	2,75	Filtro	SKC
PGP-FSP 2	2	Filtro	GSM
PGP-FSP 10	10	Filtro	GSM
10 mm Nylon	1,7	Filtro	PANAMETRICS

Con este fin y a modo de ejemplo, se ha recopilado de la bibliografía información comparativa entre dos de los muestreadores personales incluidos en esta guía, el ciclón de 10 mm de nylon y el CIP 10R [11]. En la figura 7 se representan los comportamientos de ambos muestreadores frente al convenio de la fracción respirable. El ciclón sobrestima ligeramente las partículas inferiores a 4 micrómetros y subestima las superiores mientras que el muestreador CIP, aunque se ajusta perfectamente a la curva por encima de 3 micrómetros, se separa sustancialmente del convenio para

partículas inferiores a 2 micrómetros que son, de acuerdo con lo encontrado en este estudio, las partículas de interés en el polvo de mecanizado de aglomerados de sílice. Las limitaciones observadas en el muestreador CIP 10R para separar y recoger partículas menores de 2 micrómetros están reconocidas por el propio diseñador, que advierte de su uso en aquellas actividades donde la mayoría de las partículas estén comprendidas entre 1 y 2 micrómetros, como es el caso del muestreo de humos de soldadura [11].

Figura 7. Evaluación del funcionamiento del ciclón de 10 mm de nylon (a) y el CIP 10R (b) para la medición de la fracción respirable según convenio EN 481.



Análisis

En este estudio se ha puesto de manifiesto que la sílice cristalina presente en el ambiente de trabajo puede contener cristobalita además de cuarzo aunque éste sea, en la mayor parte de los casos, el componente mayoritario. Los métodos o normas aplicados a la determinación de la cantidad de sílice cristalina en aire emplean la espectrofotometría de infrarrojo (IR) o la difracción de rayos X (DRX), siendo la primera de ellas la técnica más habitual en España [6,12-14].

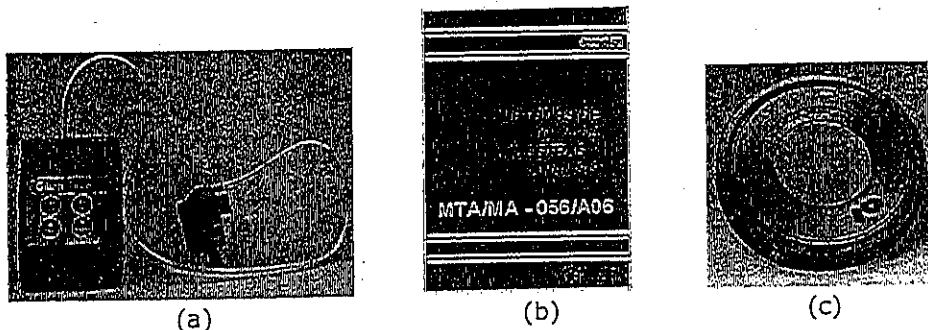
El análisis por espectrofotometría IR, que se basa en las características de la unión o enlace Si-O, permite identificar y cuantificar alguno de los polimorfos de la sílice cuando es el único componente y siempre que no existan otras interferencias o que éstas puedan ser eliminadas por tratamientos químicos o térmicos. Sin embargo, presenta problemas para distinguir entre polimorfos de la sílice cuando hay silicatos u otros minerales formando parte de la composición [12-14], lo cual es un inconveniente importante en el caso de los aglomerados. Por tanto, las cantidades de sílice cristalina en aire obtenidas por esta técnica pueden tener un componente importante de error.

La técnica DRX emplea la estructura cristalina tridimensional de cada polimorfo para el análisis. Es decir, es como si cada variedad tuviera su propia huella dactilar (señal) al interaccionar con los rayos X. De esta forma, es posible diferenciar simultáneamente entre cuarzo, cristobalita, tridimita, sílice amorfa y la gran mayoría de silicatos minerales, lo que la convierte en la técnica idónea para el análisis de las variedades de sílice cristalina en aglomerados.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) dispone de métodos de toma de muestra y análisis (figura 8) para ambas técnicas [6,13] mientras que la norma UNE 81550 se refiere, únicamente, a la determinación de sílice cristalina por espectrofotometría de infrarrojos [14]. Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se deduce que el método más adecuado para determinar simultáneamente todas las variedades de sílice cristalina (cuarzo, cristobalita y tridimita) es el método

MTA/MA-056/A06 del INSHT que emplea DRX [6]. Con este método y el equipamiento adecuado, en condiciones y parámetros de operación óptimos, se pueden alcanzar límites de detección y de cuantificación del orden de 3 microgramos y 9 microgramos de cuarzo o cristobalita en filtro, respectivamente.

Figura 8. (a) Conjunto de elementos preparados para el muestreo personal de la fracción respirable; (b) Colección de métodos de toma de muestra y análisis del INSHT y (c) Portamuestras del difractómetro X'Pert para el análisis de sílice cristalina por difracción de rayos X.



CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio sobre aglomerados de sílice utilizados en empresas del País Vasco, que podrían ser extrapolables a otras empresas, indican la importancia de la fracción respirable en el polvo generado durante su mecanizado. Por una parte, hay que señalar que esta fracción contiene mayoritariamente cuarzo y por otra que, en muchos casos, se ha encontrado también una cantidad importante de cristobalita asociada a las partículas más pequeñas. Estos son factores de riesgo que deben ser considerados para una adecuada evaluación de la exposición a sílice cristalina.

En consecuencia, para la toma de muestras ambientales será necesario elegir un muestreador, entre los que cumplan los requisitos de las normas para la fracción respirable, que tenga un buen ajuste al convenio de dicha fracción para los tamaños de partícula más pequeños.

Para seleccionar la técnica analítica adecuada, será necesaria una identificación previa de los polimorfos cristalinos de la sílice presentes en los materiales utilizados. La existencia de más de un polimorfo (probablemente cuarzo y cristobalita) implica la necesidad de utilizar una metodología que permita analizar específicamente cada uno de ellos. Así, la elección de un método que no sea capaz de distinguir entre los polimorfos de la sílice o de eliminar posibles interferencias conducirá a resultados erróneos y, consiguientemente, a evaluaciones inadecuadas.

Por todo ello, el método para la determinación de sílice cristalina (cuarzo, cristobalita y tridimita) en aire, MTA/MA-056/A06 del INSHT, es la metodología más adecuada y aplicable, incluso, con valores límite de exposición inferiores a los actuales.

Finalmente, la presencia de elevados porcentajes de sílice cristalina en el polvo de mecanizado con contenidos importantes de cuarzo en la fracción respirable y altos porcentajes de partículas de cristobalita de tamaño inferior a $2 \mu\text{m}$, implicará un grave problema higiénico. La utilización masiva de estos nuevos materiales, que han desplazado a las piedras naturales utilizadas tradicionalmente, puede explicar el aumento de los casos de silicosis declarados en el trabajo con aglomerados de sílice.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido posible gracias a la ayuda de varios Técnicos de Prevención a los que quiero agradecer su colaboración. A Da Ma Nieves de la Peña, Técnico de OSALAN, por facilitar los materiales y fotografías utilizadas en el estudio y a Da Agurtzane Zugasti y Da Natividad Montes, miembros del Departamento de Contaminantes y Toxicología del CNVM, por el aporte de muestras ambientales y comentarios realizados durante el desarrollo de parte de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INSHT en colaboración con CC AA (2011). Mecanizado de planchas de aglomerados de sílice mediante el uso de herramientas portátiles: exposición a sílice cristalina. Situaciones de Trabajo Peligrosas, STP: Exposición a Agentes Químicos, BASEQUIM <http://stp.insht.es>
2. Solans, X; Freixa, A.; Goberna, R.; Moreno, J.J.; Oubiña, A. (2011) Aglomerados de cuarzo. Medidas preventivas en operaciones de mecanizado. Nota Técnica de Prevención. INSHT.
3. INVASSAT (2008) Prevención de la silicosis en los trabajos de mecanizado y acabado de compactos de cuarzo. Dirección General de Trabajo, Cooperativismo y Economía Social. Generalitat Valenciana.
4. Willeke, K.; Baron P.A., Ed (1993) *Aerosol measurements: principles, techniques and applications*. Van Nostrand Reinhold. New York. ISBN: 0-442-00486-9
5. ACT/DRX-PI1/04 (2004) Caracterización de materiales sólidos por difracción de rayos X. Determinación del contenido en sílice en productos industriales. CNVM-INSHT.
6. MTA/MA-056/A06 (2006) Determinación de sílice libre cristalina (cuarzo, cristobalita, tridimita) en aire - Método del filtro de membrana / Difracción de rayos X. INSHT. www.insht.es
7. Rodríguez-Carvajal, J. (2006) FULLPROF Program for Rietveld refinement and Pattern Matching análisis of powder patterns. *Physica B*. 192, 55 (1992) y última versión publicada. El programa es una versión ampliamente modificada de la descrita por Wiles, D.B.; Young, R.A. *J. Appl. Crystallogr.* 14, 149 (1981). <http://www.ill.eu/sites/fullprof/>
8. Powder Diffraction Files, PDF-2 & Support Software (2007). International Centre for Diffraction Data ICDD. Actualizable bajo licencia. <http://www.icdd.com/>
9. CEN/TR 15230 (2005) Workplace atmospheres. Guidance for sampling of inhalable, thoracic and respirable aerosol fractions.
10. EN 13205 (2001) Atmósferas en los puestos de trabajo. Evaluación del funcionamiento de los instrumentos para la medición de concentraciones de aerosoles.
11. Görner, P; Fabriés, J.F. Industrial aerosol measurement according to the new sampling conventions. *Occupational Hygiene* 3, 361-376 (1996).
12. ISO/FDIS 24095 (2009) Workplace air. Guidance for the measurement of respirable crystalline silica.
13. MTA/MA-057/A04 (2004) Determinación de sílice libre cristalina en materia particulada (fracción respirable) en aire - Método del filtro de membrana / Espectrofotometría de infrarrojos. INSHT. www.insht.es
14. UNE 81550 (2003) Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de materia particulada (fracción respirable) con contenido en sílice libre cristalina, en aire. Método gravimétrico/Espectrofotometría de infrarrojos.