

ABREVIATURAS

- ACGIH Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)
- AIHA Asociación Americana de Higiene Industrial (American Industrial Hygiene Association)
- AL Límite de acción (Action limit)
- ANA Anticuerpos antinucleares (Antinuclear antibodies)
- APF Factor de protección asignado (Assigned protection factor)
- AS Piedra artificial (equivalente a 'piedra de ingeniería' o 'conglomerado de cuarzo') (Artificial stone)
- CDPH Departamento de Salud Pública de California (California Department of Public Health)
- CNC Control numérico por computadora (fresadora) (Computer numerical control)
- CT Tomografía computarizada (Computed tomography)
- CXR Radiografía de tórax (Chest x-ray)
- DLCO Capacidad de difusión de monóxido de carbono (Diffusion capacity for carbon monoxide)
- EDS Espectroscopía de energía dispersiva (Energy dispersive spectroscopy)
- FEV Volumen espiratorio forzado (Forced expiratory volume)
- FVC Capacidad vital forzada (Forced vital capacity)
- GC-MS Cromatografía de gases-espectrometría de masas (Gas chromatography-mass spectrometry)
- GM Media geométrica (Geometric mean)
- HR Cociente de riesgos (Hazard ratio)
- ILO Oficina Internacional del Trabajo (International Labour Office)
- LDH Lactato deshidrogenasa (Lactate dehydrogenase)
- LEV Ventilación por extracción local (Local exhaust ventilation)
- NS Piedra natural (Natural stone)
- NSW Nueva Gales del Sur (New South Wales)
- PAH Hidrocarburo poliaromático (Polyaromatic hydrocarbon)
- PEL Límite de exposición permisible (Permissible exposure limit)
- PMF Fibrosis masiva progresiva (Progressive massive fibrosis)
- PPE Equipo de protección personal (Personal protective equipment)
- RCS Sílice cristalina respirable (Respirable crystalline silica)
- RD Polvo respirable (Respirable dust)
- ROS Especies reactivas de oxígeno (Reactive oxygen species)
- RP Protección respiratoria (Respiratory protection)
- sACE Enzima convertidora de angiotensina en suero (Serum angiotensin-converting enzyme)

- SDS Ficha de datos de seguridad (Safety data sheet)
- SEG Grupo de exposición similar (Similar exposure group)
- SEM Microscopía electrónica de barrido (Scanning electron microscopy)
- TLV Valor límite umbral (Threshold limit value)
- TWA-8h Promedio ponderado en el tiempo de 8 horas (8-hour time-weighted average)
- UFP Partículas ultrafinas (Ultra-fine particles)
- VOC Compuesto orgánico volátil (Volatile organic compound)
- XRD Difracción de rayos X (X-ray diffraction)
- XRF Fluorescencia de rayos X (X-ray fluorescence)

BIBLIOGRAFÍA ANOTADA

Métodos

Hemos realizado una búsqueda en Web of Science y PubMed utilizando la consulta “engineered stone” OR “Artificial stone” OR “Quartz conglomerate”. Se revisaron los títulos y resúmenes de los resultados de la búsqueda (n=763) para determinar su relevancia, de los cuales 144 pasaron a una revisión de texto completo. Adicionalmente, revisamos las bibliografías de estos artículos para identificar publicaciones relevantes adicionales que pudieran no haber sido encontradas en las búsquedas iniciales de las bases de datos. Esta revisión secundaria identificó 16 artículos adicionales.

Estudios de exposición en el campo

DeVaughn, A., Go, Leonard H. T., Cohen, Robert A., & and Shao, Y. (2025). Investigation of occupational exposure to respirable crystalline silica (RCS) among engineered stone fabricators in Chicago—A pilot study. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 22(2), 101–109. <https://doi.org/10.1080/15459624.2024.2421488>

Un estudio de exposición en dos talleres de AS en el área de Chicago. Los investigadores caracterizaron las concentraciones de RCS en el aire mediante muestreos personales y ambientales, aplicaron un cuestionario a los trabajadores y documentaron sus actividades. El estudio involucró a ocho trabajadores, de los cuales se obtuvieron nueve muestras de la zona de respiración. El TWA-8h osciló entre 11 y 203µg/m³, con una concentración mediana de 90µg/m³ y con siete muestras que superaron el PEL para RCS. Las muestras de polvo de AS contenían concentraciones de sílice más altas (56-95%) que las muestras de NS (30%). Más del 90% de las partículas emitidas por las herramientas de pulido manual tenían un diámetro <2.5µm. No se observó el uso de protección respiratoria.

Phillips, M. L., Johnson, David L., & and Johnson, A. C. (2013). Determinants of Respirable Silica Exposure in Stone Countertop Fabrication: A Preliminary Study. *Journal of*

Occupational and Environmental Hygiene, 10(7), 368–373.

<https://doi.org/10.1080/15459624.2013.789706>

Un estudio de exposición realizado en cuatro talleres de AS en Oklahoma City. Los talleres utilizaban una combinación de métodos secos y húmedos. El TWA-8h superó el ACGIH-TLV para todos los trabajadores que utilizaron métodos secos, incluso durante un tiempo limitado (n=15 días-persona). Las exposiciones de la GM para quienes utilizaron métodos secos de forma extensiva fueron de 1 mg/m³ (n=12 días-persona). Los trabajadores que utilizaron herramientas automatizadas o controladas a distancia tuvieron exposiciones mucho menores, con un TWA-8h de 0.02 mg/m³ (n=3 días-persona). Varios talleres seguían utilizando métodos secos en un grado limitado, incluso cuando informaban utilizar únicamente métodos húmedos. Los investigadores identificaron el corte en seco, el esmerilado en seco y el barrido en seco como las tareas de mayor exposición. Las tareas en el nivel medio de exposición incluyeron el pulido en seco y en húmedo, el aserrado en húmedo, el uso de aire comprimido, el movimiento de piezas de piedra y el lavado de superficies. Los autores concluyen que incluso el uso limitado de métodos secos puede exponer a los trabajadores a un TWA-8h superior al ACGIH-TLV y que los talleres que informan el uso exclusivo de métodos húmedos aún pueden utilizar métodos secos por tiempos limitados.

Qi, C., & Echt, A. (2016). Engineering Control of Silica Dust from Stone Countertop Fabrication and Installation (Nos. 375–11a). National Institute of Occupational Safety and Health. <https://www.cdc.gov/niosh/pubs/surveyreports/pdfs/375-11a.pdf?id=10.26613/NIOSHEPHB37511a>

Un estudio de exposición que evaluó los niveles de RCS en la zona personal de respiración entre trabajadores de un taller de fabricación en Texas en 2015. Se midieron las exposiciones a corto plazo basadas en tareas para RD y RCS en cinco trabajadores que utilizaban herramientas manuales para pulir, esmerilar y laminar AS. Los trabajadores utilizaron métodos húmedos en todo momento. Los niveles de RCS a corto plazo oscilaron entre 27.1 y 142.6µg/m³ para los pulidores y entre 57.8 y 450.8µg/m³ para los esmeriladores. La diferencia de exposición entre pulidores y esmeriladores fue estadísticamente significativa. Los niveles medios de RCS a corto plazo para los pulidores fueron de 62.2µg/m³ y de 159.4µg/m³ para los esmeriladores. Los niveles de RCS a corto plazo para los laminadores oscilaron entre 48.0 y 119.0µg/m³, con una media de 90.8µg/m³. El esmerilado inicial y la limpieza y secado de las piedras con aire comprimido produjeron exposiciones a RCS particularmente altas. Los autores concluyen que el esmerilado y pulido en húmedo de AS aún pueden conducir a una sobreexposición.

Qi, C., & Echt, A. (2021). Engineering Control of Silica Dust from Stone Countertop Fabrication and Installation—Evaluation of Wetting Methods for Grinding (Nos. 2021-DFSE-710). National Institute for Occupational Safety and Health. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/174847>

Un estudio de exposición que evaluó los niveles de RCS en la zona personal de respiración durante la fabricación de AS. Los trabajadores utilizaron esmeriladoras equipadas ya sea con rocío de agua desde una boquilla en la herramienta, un suministro de agua central integrado en la esmeriladora, o una combinación de rocío de agua y humectación por flujo laminar (sheet-flow). Las concentraciones promedio de RCS a corto plazo y basadas en tareas fueron de $190 \pm 105.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con herramientas equipadas con rocío de agua, $195 \pm 168 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con agua de alimentación central, y $33.2 \pm 11.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el rocío de agua combinado con humectación por flujo laminar. Los investigadores concluyeron que tanto el rocío de agua como el agua de alimentación central tuvieron un desempeño igualmente deficiente, ya que no humedecieron adecuadamente el punto de esmerilado. Las estrategias de muestreo utilizadas para el método de flujo laminar difirieron de las utilizadas para las otras estrategias de control; por lo tanto, los resultados no se pueden comparar directamente. Sin embargo, los autores señalan un experimento previo que demostró que el flujo laminar reduce significativamente las exposiciones a RD ($p=0.026$) y RCS ($p=0.002$).

Qi, C. (2024). Investigation of Ventilation Engineering Controls for Stone Countertop Fabrication (Nos. 2024-DFSE-1618). National Institute for Occupational Safety and Health.

Un estudio de exposición realizado durante tres visitas a un taller de fabricación de AS en los EE. UU. Los controles de ingeniería se configuraron de manera diferente para cada una de las tres visitas: las Configuraciones 1 y 3 desplegaron cuatro extractores de polvo en las áreas finales de esmerilado/pulido, mientras que la Configuración 2 desplegó cinco. Las Configuraciones 2 y 3 contaban además con una cabina extractora de polvo designada para el esmerilado, mientras que la Configuración 1 realizaba el esmerilado en un área más alejada de los extractores de polvo. Las tres configuraciones también utilizaron la limpieza en húmedo del piso con diferentes frecuencias. Se obtuvieron muestras de aire en la zona de respiración de RD y RCS entre los trabajadores que utilizaban herramientas de esmerilado y pulido, y también se recolectaron muestras ambientales. La Configuración 2 mostró concentraciones significativamente reducidas de RD ($p=0.002$) y RCS ($p=0.007$) en las muestras ambientales y en las exposiciones a RD ($p=0.007$) y RCS ($p<0.001$) para el esmerilado. Las exposiciones para el esmerilado estuvieron por debajo del OSHA PEL; sin embargo, ni la Configuración 1 ni la Configuración 2 parecieron reducir las exposiciones para el pulido, con exposiciones a RCS en TWA-8h todavía cercanas al OSHA PEL bajo ambas configuraciones. La Configuración 3 tuvo concentraciones elevadas de RD en las muestras ambientales en relación con la Configuración 2, con niveles comparables de RD generados durante el esmerilado; sin embargo, la Configuración 3 tuvo una producción significativamente menor de RD ($p<0.001$) y RCS ($p=0.031$) durante el pulido que la Configuración 2, y todas las concentraciones de RCS estuvieron por debajo del OSHA AL. Los autores sospechan que esto se debió a una combinación de los controles de ingeniería utilizados y al bajo contenido de sílice en los productos fabricados durante la visita. Las combinaciones más efectivas de controles de ingeniería fueron: 1)

diseñar extractores de polvo para el esmerilado como se evaluó en las Configuraciones 2 y 3; 2) capacitar a los trabajadores para posicionarse ellos mismos y a los bancos de trabajo de manera constante dentro del recinto con campana del extractor de polvo, como se evaluó en la Configuración 3. Esta combinación de controles mantuvo de manera constante las exposiciones individuales a RCS por debajo del PEL para las tareas de esmerilado y pulido.

Salamon, F., Martinelli, Andrea, Vianello, Liviano, Bizzotto, Rosana, Gottardo, Ottorino, Guarnieri, Gabriella, Franceschi, Antonia, Porru, Stefano, Cena, Lorenzo, & and Carrieri, M. (2021). Occupational exposure to crystalline silica in artificial stone processing. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 18(12), 547–554.

<https://doi.org/10.1080/15459624.2021.1990303>

Un estudio transversal cuantitativo de exposición en cuatro talleres de fabricación de AS en Italia. Los talleres variaban en tamaño de seis a 65 empleados. Los investigadores recolectaron muestras personales en 51 sujetos durante la duración de un turno de 8 horas. Tres de los cuatro talleres trabajaban principalmente con AS, mientras que el cuarto trabajaba con cerámica. Los niveles más altos de RCS se encontraron entre los trabajadores que realizaban procesamiento manual, siendo las exposiciones del procesamiento en seco significativamente más altas que las del procesamiento en húmedo (alimentado por agua) (0.352 mg/m³ frente a 0.082 mg/m³; p=0.0216). El taller que utilizaba una combinación de procesamiento seco y húmedo para el procesamiento manual tuvo los niveles más bajos de RCS (0.007 mg/m³ en comparación con 0.021-0.046 mg/m³ para los otros talleres). El 21.6% y el 13.7% de las muestras estuvieron por encima del AL y del PEL, respectivamente. Los autores señalan la eficacia variable de las cabinas de extracción y los bancos aspirados. Ambos controles requieren que los trabajadores se posicionen correctamente a sí mismos y al equipo para una protección óptima; sin embargo, los trabajadores pueden, en su lugar, trabajar desde una parte de la piedra que esté lejos del conducto de aire o entre la piedra y el conducto, lo que limita el efecto protector.

Seneviratne, M., Shankar, K., Cantrell, P., & Nand, A. (2024). Respirable Silica Dust Exposure of Migrant Workers Informing Regulatory Intervention in Engineered Stone Fabrication. *Safety and Health at Work*, 15(1), 96–101.

<https://doi.org/10.1016/j.shaw.2024.01.003>

Un estudio transversal cualitativo y cuantitativo de exposición en seis talleres de fabricación seleccionados al azar en Sídney, Australia, realizado en 2017. Se encuestó a 34 trabajadores durante seis horas a lo largo de un solo turno, identificándose tres SEG entre los trabajadores: 1) corte en húmedo con sierra de puente o CNC; 2) acabado en seco con herramientas manuales; 3) pulidores que utilizaban herramientas neumáticas alimentadas por agua. Todos los talleres utilizaban herramientas similares pero variaban en el uso de métodos húmedos. Todas las mediciones se tomaron en el taller, en lugar de en el sitio de

instalación. El 79% de los trabajadores estuvieron expuestos por encima del PEL TWA-8h australiano (0.1 mg/m³). Los trabajadores que utilizaban métodos húmedos y que estuvieron expuestos por encima del PEL tendían a trabajar cerca del rocío de agua. Los LEV estaban mal diseñados y mal mantenidos. La mayoría de los trabajadores que utilizaban el corte en húmedo no usaban PPE.

Soo, J.-C., Houlroyd, J., Warren, H., Philpot, B. J., & Castillo, S. (2025). Respirable dust and respirable crystalline silica exposures among workers at stone countertop fabrication shops in Georgia from 2017 through 2023. *Annals of Work Exposures and Health*, wxaf014. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxaf014>

Un estudio de exposición de trabajadores realizado en 11 talleres de fabricación de piedra en Georgia. Los investigadores utilizaron datos de muestreo para identificar los SEG para las tareas involucradas en la fabricación de piedra y utilizaron el análisis de decisión bayesiano (BDA) y la herramienta AIHA Industrial Hygiene Data Analyst (AIHA-IHDA) para proyectar las necesidades de diferentes SEG respecto a los APF de los equipos de RP. Se identificaron cuatro SEG: 1) soporte; 2) operador de herramienta automatizada; 3) operador de herramienta pequeña; 4) fabricación/laminación. De 75 muestras de aire personales de turno completo, el 53% superó el PEL. El análisis BDA y AIHA-IHDA de los datos de exposición encontró que todos los empleados involucrados en los procesos de fabricación de AS, incluidos los trabajadores del SEG de soporte, deberían usar un respirador con un APF de 10, independientemente de los controles de ingeniería en uso. Los trabajadores de fabricación/laminación deberían utilizar respiradores con un APF entre 50 y 1,000.

Surasi, K., Ballen, B., Weinberg, J. L., Materna, B. L., Harrison, R., Cummings, K. J., & Heinzerling, A. (2022). Elevated exposures to respirable crystalline silica among engineered stone fabrication workers in California, January 2019–February 2020. *American Journal of Industrial Medicine*, 65(9), 701–707. <https://doi.org/10.1002/ajim.23416>

Un estudio de exposición que incluyó a 152 empleados en 47 lugares de trabajo en California, el cual investigó las exposiciones a RCS y el cumplimiento de los empleadores con las normas de Cal/OSHA sobre RCS y protección respiratoria. 38 empleados (25%) tuvieron exposiciones por encima del PEL (exposición mediana = 0.09µg/m³). 17 empleados (11%) tuvieron exposiciones entre el AL y el PEL. 24 lugares de trabajo (51%) tuvieron al menos una exposición por encima del PEL, y 34 lugares de trabajo (72%) fueron citados por al menos una violación de las normas de protección respiratoria. Los autores concluyeron que existe una sobreexposición generalizada a RCS entre los trabajadores y numerosas violaciones de las normas de Cal/OSHA por parte de los empleadores.

Weller, M., Clemence, D., Lau, A., Rawlings, M., Robertson, A., & Sankaran, B. (2024). An assessment of worker exposure to respirable dust and crystalline silica in workshops

fabricating engineered stone. *Annals of Work Exposures and Health*, 68(2), 170–179.
<https://doi.org/10.1093/annweh/wxad072>

Un estudio de exposición en 27 talleres en Australia que caracterizó la exposición de los trabajadores a RD y RCS tras un programa de 5 años de inspecciones y concientización. Todos los talleres del estudio utilizaban métodos húmedos para la fabricación. Los TWA-8h de la GM agrupada para RD y RCS fueron de 0.09 mg/m³ y 0.034 mg/m³, respectivamente. Los trabajadores que utilizaban herramientas manuales neumáticas para cortar o esmerilar/pulir experimentaron el TWA-8h más alto (0.062 mg/m³), mientras que aquellos que experimentaron el TWA-8h más bajo operaban fresadoras semiautomatizadas y pulidoras de bordes (0.022 mg/m³ y 0.013 mg/m³, respectivamente). La relación GM RCS/RD osciló entre 0.31 y 0.56, la cual es alta en comparación con la encontrada para varios otros materiales de construcción (0.2 o menos). Los autores concluyeron que si bien estos niveles de exposición son significativamente más bajos que los observados con los métodos de corte en seco, los niveles permanecen por encima del PEL de 0.05 mg/m³; por lo tanto, se necesitan medidas de control adicionales para proporcionar una protección adecuada a los trabajadores.

Zwack, L. M., Victory, K. R., Brueck, S. E., & Qi, C. (2016). Health Hazard Evaluation Report (Nos. 2014-0215–3250). National Institute for Occupational Safety and Health.

Una investigación de exposición de dos días realizada por el NIOSH en una planta de fabricación de 38 empleados en Texas que trabajaba tanto con AS como con NS. El NIOSH obtuvo 36 muestras de aire personales de turno completo y 28 muestras de aire basadas en tareas. Todas las herramientas estaban equipadas con flujo de agua controlable. Todos los empleados utilizaron protección respiratoria personal adecuada. Las exposiciones de turno completo de los empleados que utilizaban esmeriladoras húmedas neumáticas con muelas de copa de diamante para pulir losas terminadas estuvieron en o por encima del OSHA PEL y el ACGIH-TLV. Ninguno de los otros empleados de los que se recolectaron datos estuvo por encima del PEL, incluso los pulidores que utilizaban discos con aglomerante de resina. Otros empleados sí tuvieron exposiciones por encima del ACGIH-TLV. Los autores concluyeron que el esmerilado en húmedo tanto de AS como de NS y el pulido en húmedo de AS pueden provocar altas exposiciones basadas en tareas.

Estudios de eficacia de controles de ingeniería (entornos controlados)

Cooper, J. H., Johnson, D. L., & Phillips, M. L. (2015). Respirable Silica Dust Suppression During Artificial Stone Countertop Cutting. *The Annals of Occupational Hygiene*, 59(1), 122–126.