

FACULTAT DE BELLES ARTS



# La Recerca en Conservació III

des de la visió del Conservador-Restaurador



# **Limpieza criogénica de superficies arquitectónicas: aproximación a la viabilidad del tratamiento**

Manuel Ángel Iglesias Campos

manuel.iglesias@ub.edu

## Introducción

La limpieza criogénica de cualquier superficie se efectúa mediante el desplazamiento manual de una boquilla con la que se proyectan fragmentos de hielo seco impulsados desde el depósito de un equipo diseñado para este fin (Cold Jet, 2018, Ictech, 2018, Linde Group, 2017).

La maquinaria necesaria es similar a la de la proyección de abrasivos: equipo —en el que se puede regular la presión de trabajo y la cantidad de producto (figura 1)—, manguera —de diferentes diámetros y longitudes— y boquilla —de diferentes formas y diámetros que pueden incluir accesorios para la fragmentación o laminación del hielo seco. Se precisa también un compresor de aire —con el que se impulsa el producto hacia el exterior—, y de un secador o enfriador —con el que eliminar la humedad del aire comprimido. Por las características de los equipos habituales, pero sobre todo por el diámetro, forma y tamaño de la boquilla, que dificultan su maniobrabilidad, su uso podría plantearse actualmente en superficies planas o con poco volumen.

El hielo seco es la fase sólida del dióxido de carbono y se obtiene al reducir la presión y la temperatura del CO<sub>2</sub> líquido de manera controlada. Existen diferentes maneras de presentación del hielo seco —nieve carbónica, pellets o bloques— aunque, por las características de la mayoría de los equipos comercialmente disponibles, se suelen utilizar pellets.

Los pellets son, por tanto, partículas de dióxido de carbono con una temperatura de  $-78,5$  °C, de formas regulares —normalmente cilíndricas—, con tamaños que oscilan entre 3 y 16 mm de diámetro y de longitud variable (figura 1). Como producto, tienen unas exigencias de conservación para evitar la pérdida de temperatura —recipientes con aislamiento térmico— y su almacenamiento debe hacerse en lugares suficientemente ventilados.

En líneas generales, los parámetros del tratamiento son similares a los de la proyección de abrasivos (Iglesias Campos, 2010) ya que uno de los principales mecanismos de limpieza se basa en la energía cinética de los pellets al impactar con la superficie. Así, en relación con la técnica propiamente



Figura 1. Detalle del panel de control de un equipo de limpieza criogénica (izquierda), y fotomacrografía de pellets de hielo seco (derecha).

dicha, influyen la presión, el ángulo, la distancia, el tiempo, la forma y características de la boquilla, y el caudal de aire-hielo seco, entre otros; y en relación con el producto, en este caso, el tamaño y la morfología de los pellets tras salir por la boquilla.

Pero en la limpieza criogénica, además del impacto de las partículas sólidas de  $\text{CO}_2$ , se combinan otros procesos físicos: por un lado, el mecanismo termodiferencial de los materiales —suciedad y sustrato— y, por otro, la expansión del gas al chocar con la superficie.

Como en cualquier impacto, la tensión provoca una red de microfisuras en la suciedad, y entre la suciedad y el material de sustrato, de manera muy rápida. En un principio, como el  $\text{CO}_2$  sólido tiene menor densidad ( $0,0019 \text{ g/cm}^3$ ) y dureza (2 Mohs) que cualquier partícula de las empleadas en la proyección de abrasivos y sublima de manera casi instantánea, según la ecuación de la energía cinética se transmite muy poca energía. La limpieza tendría que ser, por tanto, delicada incluso con presiones elevadas.

Pero al impacto, como mecanismo de limpieza, se le añade también el diferencial térmico entre el hielo seco y la superficie. Al tener la suciedad y el material de sustrato diferentes coeficientes de dilatación térmica lineal, el brusco cambio de temperatura que les supone recibir el hielo seco y equilibrarse posteriormente con la ambiental, hace que las superficies se contraigan y expandan a diferentes velocidades.

Esta contracción-expansión facilita la formación de microfisuras en la superficie de contacto entre suciedad y material de sustrato, que se suman a las provocadas por el impacto, facilitando el desprendimiento de los depósitos a retirar. Pero, este mecanismo puede afectar también al material del sustrato ya que los diferentes minerales —y sus fases de unión cuando existen— acostumbran a tener diferentes coeficientes de dilatación térmica lineal que pueden favorecer el desarrollo de microfisuras, fisuras y oquedades en el sustrato.

Al impacto y al diferencial térmico se le añade además, también como mecanismo de limpieza, la expansión del gas al chocar con la superficie y sublimar. La expansión del CO<sub>2</sub> en los intersticios y en la red de microfisuras generada en los depósitos superficiales provoca microexplosiones puntuales. Teóricamente esta expansión se produce hacia el exterior desde la zona de contacto entre suciedad y material de sustrato, debilitando su adherencia, facilitando su separación y reduciendo, teóricamente, la alteración. Pero, el gas expandido también puede penetrar en las microfisuras del sustrato y favorecer la alteración.

Por tanto, los mecanismos de limpieza que se producen durante el tratamiento plantean la posibilidad de alteración en un material constructivo así tratado que supondrían un aumento de la rugosidad, con el consiguiente incremento de la absorción de agua y de partículas ambientales, y la pérdida de detalles decorativos y de pátinas naturales o artificiales (Young, Urquhart, Laing, 2003).

La limpieza criogénica se utiliza desde hace años en la limpieza industrial de metales —moldes de fundición, piezas de aluminio, motores e instalaciones con componentes eléctricos, etc.— para retirar principalmente recubrimientos de cola, barniz, aceite, grasa, hollín y otros depósitos similares (Spur,

Uhlmann, Elbing, 1999). En estas aplicaciones, debido probablemente a las características de los sustratos, no se han observado alteraciones en las superficies.

Una de las ventajas principales de la técnica es la inexistencia de residuos sólidos secundarios; los únicos son el CO<sub>2</sub> gaseoso, derivado de la sublimación, y la suciedad. Como desventajas del tratamiento se consideran la necesidad de utilizar un compresor de gran potencia y el ruido —provocado tanto por el compresor como por la salida del producto a través de la lanza de proyección—, sin contar los posibles daños que se puedan producir en los materiales.

Además, existen unos requerimientos mínimos relacionados con la seguridad personal: se precisa protección con pantalla facial y mascarilla con filtro para partículas sólidas o equipo de respiración autónomo, la manipulación de los pellets debe hacerse con guantes de protección para evitar quemaduras, y se precisan protectores auditivos por el ruido que se produce durante el tratamiento. El sistema, además, no debe utilizarse en recintos cerrados o con poca ventilación porque el CO<sub>2</sub> es peligroso a partir de una concentración en el aire del 0,5%.

## Metodología y resultados

Sobre materiales constructivos su uso es escaso. Algunos fabricantes refieren en sus páginas web la limpieza del hollín provocado por incendios en calizas y ladrillos —y madera—, situaciones en la que el depósito tiene escaso grosor y poca adherencia y permite, por tanto, un desplazamiento rápido de la proyección sin necesidad de insistir durante mucho tiempo sobre la superficie.

Aunque se han realizado ensayos sobre edificios, no existen publicaciones con estudios documentados científicamente sobre la aplicación de la técnica en materiales constructivos y la opinión generalizada es que en la actualidad no se trata de un sistema que resulte del todo apropiado para estos trabajos.

Young, Urquhart y Laing (2003) comentan su utilidad para la eliminación de chicles. En ensayos presenciados por el autor con este mismo fin se ha podido comprobar su efectividad sobre asfalto y pavimentos de cemento: se elimina la goma aunque queda una ligera mancha de aspecto graso en el material.

En algunos ensayos realizados sobre aplacados de mármol y granito pulido ensuciado artificialmente con pintura acrílica negra en spray se observó que aunque la capa superficial de pintura se eliminaba, quedaban restos en la porosidad fisural de los materiales —observable visualmente— y se modificaba sustancialmente la textura superficial del acabado (figura 2). El daño parecía relacionarse con el diferente coeficiente de dilatación térmica lineal de los minerales de estas rocas, que había generado microfracturas durante los procesos de contracción, sin menospreciar el posible efecto de la expansión del gas. En estos casos el diferente comportamiento del cuarzo, la mica y los feldspatos, o el más complejo de la calcita, provocaba desprendimientos de granos o láminas según la orientación, composición y distribución de los cristales.

Resultados similares se obtuvieron en fragmentos de calizas porosas con depósitos superficiales de suciedad ambiental, aunque aquí, las modificaciones de rugosidad eran mucho más evidentes y acusadas. En cambio, en la eliminación de diferentes encalados y pinturas al temple —depósitos poco adherentes— sobre ladrillo manual del siglo XIX, los resultados fueron positivos, sin observar visualmente modificaciones en la textura superficial de la pieza (figura 2).

En todas estas pruebas también se comprobó, a través del tacto, que la temperatura superficial de los materiales descendía de manera significativa y tardaba un tiempo en estabilizarse con la ambiental. Para documentar estas observaciones se efectuó una proyección sobre un bloque comercial de cemento teñido sin ensuciar. Se pudo evidenciar que se provocaba una *congelación* superficial del agua ambiental y de la contenida en el sustrato que, durante aproximadamente tres minutos, se iba reduciendo, dejando finalmente una mancha de humedad que desaparecía una vez pasados unos 6-7 minutos.

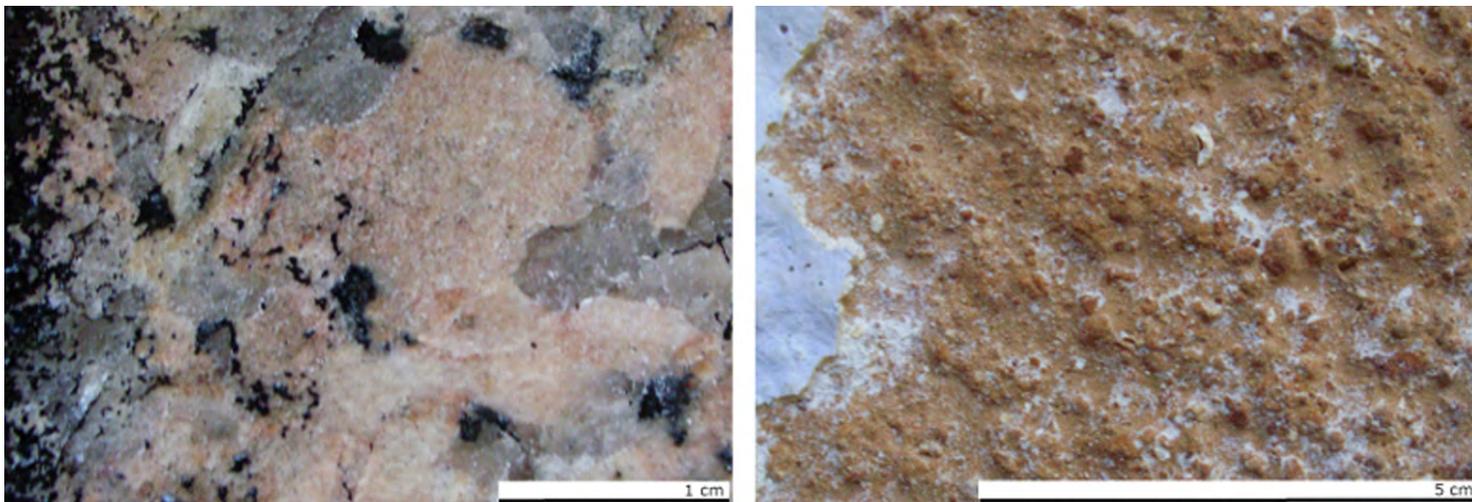


Figura 2. Fotomacrografía de dos materiales tras el tratamiento: eliminación de pintura acrílica negra en spray sobre granito pulido donde se aprecian modificaciones en la textura superficial (izquierda), y retirada de encalados y pinturas al temple sobre ladrillo manual del siglo XIX sin cambios visualmente apreciables en la superficie (derecha).

En todas estas pruebas se utilizaron presiones entre 1-6 bar, distancias entre 25-30 cm, y ángulos entre 35° y 90°. La boquilla utilizada era de 6 mm de diámetro con pieza interna rompedora de pellets —nominalmente de 3 mm de diámetro, desconociendo por imposibilidad técnica el diámetro exacto y la longitud a la que salían tras pasar por el rompedor—. De los parámetros controlados se pudo concluir que con presiones inferiores a 3-4 bar en manómetro y ángulos inferiores a 75° la suciedad —natural o artificial— no se eliminaba.

En ensayos para retirar diferentes capas de pintura —plástica, esmalte y clorocaucho— de ladrillos manuales del siglo XIX, a los que el autor pudo asistir y en las que se utilizaron parámetros similares, la limpieza dejaba una superficie con picado profundo en la cerámica sin eliminar totalmente las capas de pintura —por su dureza y elasticidad, estas pinturas, y sobre todo las de clorocaucho, son de por sí difíciles de eliminar. El daño era mayor que con abrasivos a baja presión, técnica con la que

también se hicieron pruebas —vidrio micronizado de 100-250  $\mu\text{m}$  a 1 bar de presión, ángulo de 75°, distancia de 7 cm con variaciones graduales y boquilla recta de 5 mm de diámetro.

Usando parámetros similares, en otros ensayos de limpieza, también sobre ladrillos manuales del siglo XIX pero en este caso con dos capas de pintura —esmalte y plástica—, la capa más superficial —ligeramente desprendida— se retiraba con facilidad; no así la que estaba en contacto directo con la cerámica, donde el tratamiento provocaba un picado superficial muy evidente.

## Discusión y conclusiones

De los ensayos realizados y con los parámetros seleccionados, se puede concluir que la limpieza criogénica parece resultar viable cuando la adherencia entre el depósito a retirar y el sustrato no es muy elevada. La reducida adherencia hace que el tiempo de proyección sobre la superficie sea menor y, por tanto, se minimicen la mayoría de los efectos físicos del tratamiento y la afectación sobre los materiales.

En este sentido cabe indicar que, como presiones inferiores a 3 bar en manómetro no parecen tener un efecto de limpieza significativo, la reducción del tamaño del pellet o el empleo de nieve carbónica, que supondría una reducción en la masa del producto, podría permitir controlar y minimizar algunas de las alteraciones observadas.

## Bibliografía

- Cold Jet. (2018). ¿Qué es la limpieza criogénica?. Recuperado el 18/09/2018, de <http://www.coldjet.com/es/information/what-is-dry-ice-blasting.php>.
- Ictech. (2018). What is Dry Ice Blasting?. Recuperado el 18/09/2018, de <https://icetechworld.com/dry-ice-blasting/>.
- Linde Group. (2017). Cryoclean® dry ice blasting. Recuperado el 18/09/2018, de [https://www.linde-gas.com/en/images/Brochure%20Cryoclean%20DryIce%20Blasting\\_tcm17-121598.pdf](https://www.linde-gas.com/en/images/Brochure%20Cryoclean%20DryIce%20Blasting_tcm17-121598.pdf)
- Young, M. E., Urquhart, D. C. M. & Laing, R. A. (2003). Maintenance and repair issues for stone cleaned sandstone and granite building façades. *Building and Environment*, 38, 9-10, 1125-1131.
- Spur, G., Uhlmann, E., Elbing, F. (1999). Dry ice blasting for cleaning: process, optimization and application. *Wear*, 233-235, 402-411.
- Iglesias Campos, M. A. (2010). Métodos mecánicos para la limpieza de materiales constructivos: Proyección de abrasivos a baja presión. En J. Gisbert Aguilar (ed.), *La tecnología láser y otros métodos de limpieza y restauración de materiales pétreos* (pp. 29-43). Zaragoza: Libros Pórtico.





FACULTAT DE BELLES ARTS



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA



www.setmanaciencia.cat