

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

Tema 10. CONSERVACIÓN DE MATERIALES PÉTREOS

10.1. Trabajos de intervención: Limpieza



CONSERVACIÓN DE MATERIALES PÉTREOS

- **CRITERIOS Y NORMAS DE CONSERVACIÓN**
- **DIAGNÓSTICO DE LESIONES**
- **TRABAJOS DE INTERVENCIÓN**
 - Intervenir primero en el edificio y su entorno
 - Atender a criterios genéricos, y específicos del edificio
 - Disponer de medios materiales y humanos adecuados
 - Realizar un control técnico permanente
 - Elegir la época más adecuada
 - Elaborar una memoria detallada
- **MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN PREVENTIVA**



TRABAJOS DE INTERVENCIÓN



- **LIMPIEZA**
- **REPOSICIÓN**
- **TRATAMIENTOS**

► Esbert R.M. et al.(2004). *La conservación de la piedra del claustro*. En: *La restauración de la torre y el claustro de la catedral de Oviedo* (Ed. Nobel, Oviedo), 284-302.

LIMPIEZA

- *Eliminar la suciedad y los productos ajenos al sustrato* que son o pueden ser dañinos para la conservación y pueden impedir su identificación.

(UNE 41806-1, Construcción. Conservación de edificios).

- *Eliminación de material no deseado de un bien.*

(UNE-EN 15890, Conservación del Patrimonio Cultural)

NOTA.- Siempre hay que precisar los criterios relativos a un material “no deseado”, por ejemplo puede ser potencialmente perjudicial, oscurecer un detalle, mostrar una imagen antiestética...

LIMPIEZA

INTERÉS

- Por estética: → **Mejora la percepción del edificio**
- Por conservación: → **Elimina los productos nocivos**
 - Por ser la primera actuación
 - Por hacerse siempre
 - Por parecer sencilla
 - Por ser **irreversible**
 - Por condicionar las etapas posteriores
 - Por afectar a la durabilidad de la piedra

⇒ **Supone un riesgo para la piedra**



LIMPIEZA

CONSIDERACIONES

- Limpieza ideal (teoría → ciencia)
- Limpieza real (práctica → industria)
- Percepción de la suciedad
 - Etapas en el ensuciamiento: a) realce de detalles, b) oscurecimiento parcial, c) oscurecimiento total y uniforme.
 - Umbrales de suciedad: a) detección (no detectable), b) fisiológico (no observable), c) psicológico (no valorado), d) comportamiento (valorado como un problema).
- Suciedad ⇒ pérdida de valor
- Suciedad ⇒ percepción de antigüedad
- Proceso cíclico: limpieza-ensuciamiento

► Manuel A. Iglesias Campos (2012). *Limpieza de materiales constructivos en patrimonio arquitectónico. Parámetros de las técnicas físicas y mecánicas: influencia en el tratamiento*. Tesis doctoral, Univ. Barcelona.



LIMPIEZA

REQUISITOS

- Su acción debe de poder controlarse → debe ser $\pm$ lenta
- No debe agredir al material: → a la piedra o la pátina
- No debe aportar o generar productos nocivos.
- No debe perjudicar al ambiente o a los operarios.
- Precisa ensayos previos “in situ” ⇒ **spot, cata**
 - valorar el método de limpieza (mecánico, químico...)
 - valorar el procedimiento (parámetros, tiempo...)
 - establecer el grado de limpieza
 - estimar el coste de la limpieza
- Precisa seguimiento durante la intervención
 - método de evaluación rápido y sencillo del daño causado
- Requiere operarios experimentados
 - capaces de controlar y documentar el proceso
- Debe documentarse el proceso

LIMPIEZA

FACTORES

⇒ *para seleccionar el método*

- Valor del edificio
- Características del material (piedra, pátina...):
→ composición, porosidad, coherencia...
- Características de la suciedad (deterioro...):
→ naturaleza, espesor, distribución...
- Cohesión de la suciedad y su adhesión al sustrato
- Características del ambiente (causa del deterioro)

⇒ **LIMPIEZA APROPIADA: EFICAZ + INOCUA**



FACTORES EN LA LIMPIEZA



Teatro Victoria Eugenia (San Sebastián)

Material coherente



Material disgregado



Claustro de la catedral (Oviedo)



LIMPIEZA

MÉTODOS

- **MECÁNICOS**
- **ACUOSOS**
 - aplicación de apósitos:
⇒ **EXTRACCIÓN DE SALES SOLUBLES**
- **QUÍMICOS**
 - aplicación de apósitos:
⇒ **FORMULACIONES ESPECÍFICAS**
- **LIMPIEZA LÁSER**
- **OTROS MÉTODOS**
 - ultrasonidos, emulsiones de látex...

► UNE 41806-1. Clasificación de los métodos de limpieza



LIMPIEZA MECÁNICA

ASPECTOS GENERALES

- **Procesos físico-mecánicos**

- aplicar energía mediante diferentes herramientas
- acciones de impacto, abrasión y corte

- **Controlar el proceso**

- eliminar la suciedad, sin dañar en el material
- daños que pueden generarse:
 - pérdida de fragmentos,
 - cambios de rugosidad
- vigilar: no eliminar pátinas naturales

► UNE 41806-3. Técnicas de limpieza mecánica



LIMPIEZA MECÁNICA

TIPOS

- **Métodos manuales-simples**
 - Bujardas, cepillos metálicos... → ***no**
 - Bisturíes, espátulas, pinceles... → ***si**
- **Proyección de abrasivos**
 - Chorro de arena (cuarzo)... → ***no**
 - Microchorro de abrasivos... → ***si**

***uso en la conservación de la piedra**

LIMPIEZA MECÁNICA

MÉTODOS MANUALES

- Son más o menos sencillos, artesanos
 - con cepillos, espátulas, bisturíes, punzones, microcinces, microtornos, vibroincisores...
- Son lentos, caros, laboriosos
- Requieren operarios experimentados
 - control continuo del proceso
- Indicados para objetos pequeños, para zonas puntuales y localizadas.

LIMPIEZA MECÁNICA

MÉTODOS MANUALES

Ensayos previos



Teatro Victoria Eugenia (San Sebastián)

LIMPIEZA MECÁNICA

PROYECCIÓN DE ABRASIVOS

ASPECTOS GENERALES

- Evitan la penetración de agua → **proyección en seco**
- Gran desarrollo actualmente:
→ variación en tipo de abrasivo, procedimiento...
- Requieren operarios experimentados
→ evitar daños: pérdida de material sano
- Realizar pruebas previas (de menos a más intensidad)

LIMPIEZA MECÁNICA

PROYECCIÓN DE ABRASIVOS

VARIABLES A CONTROLAR ⇒ EN PRUEBAS PREVIAS

- Parámetros del material
 - composición: mineralogía...
 - textura: granulometría...
 - porosidad: cantidad, tamaño...
 - propiedades: dureza...
- Parámetros de la suciedad
 - textura superficial: rugosidad, color...
 - espesor, compacidad, coherencia, dureza...
 - adherencia al sustrato (roca, pátina)
 - distribución: homogeneidad

LIMPIEZA MECÁNICA

PROYECCIÓN DE ABRASIVOS

VARIABLES A CONTROLAR

⇒ EN PRUEBAS PREVIAS

- Parámetros del abrasivo
 - composición, granulometría, morfometría...
- Parámetros técnicos de aplicación:
 - presión, tipo de boquilla, ángulo de proyección,
 - distancia de trabajo, cantidad de abrasivo (caudal),
 - tiempo en spot (1 s), desplazamiento en cata (m^2/s)
- Método de proyección:
 - en seco: ausencia de agua → *factor positivo*
presencia de polvo → *factor negativo*
 - en húmedo: ablanda la suciedad, es menos agresivo



LIMPIEZA MECÁNICA

CHORRO DE ARENA

- Utiliza abrasivo grueso (arena de cuarzo)
- Método industrial: poco aconsejable
 - la abrasión de la superficie es acusada
 - el ensuciamiento posterior es muy rápido
- Método más rápido, más barato

CHORREADO SECO

VENTAJAS

- Ausencia de agua, de cambio de color...
- Versátil, simple y rápido de usar
- Se puede usar en época de helada
- El resultado es visible inmediatamente

INCONVENIENTES

- Grandes cantidades de polvo
- Implica riesgo para el operario
- La superficie pétrea se daña pronto
- Requiere gran habilidad del operario

CHORREADO HÚMEDO

VENTAJAS

- Se elimina el polvo
- Ablanda la suciedad
- Es menos agresivo
- El aclarado facilita la limpieza final

INCONVENIENTES

- Moviliza las sales
- No emplear en época de helada



LIMPIEZA MECÁNICA

MICROCHORRO ABRASIVO

- Específico para piedra monumental
 - más preciso, selectivo, controlable
- Utiliza abrasivo fino (microáridos: $<300\text{ }\mu\text{m}$)
 - mucho menos agresivo (usual: $40\text{-}100\text{ }\mu\text{m}$)
- Precisa operarios con experiencia
- Es más costoso (máquina+abrasivo), más lento
- Evitar la humedad
 - para que el abrasivo fluya y no se apelmace
- Evitar el polvo
 - proteger: las zonas sensibles, a los operarios
- Realizar pruebas previas

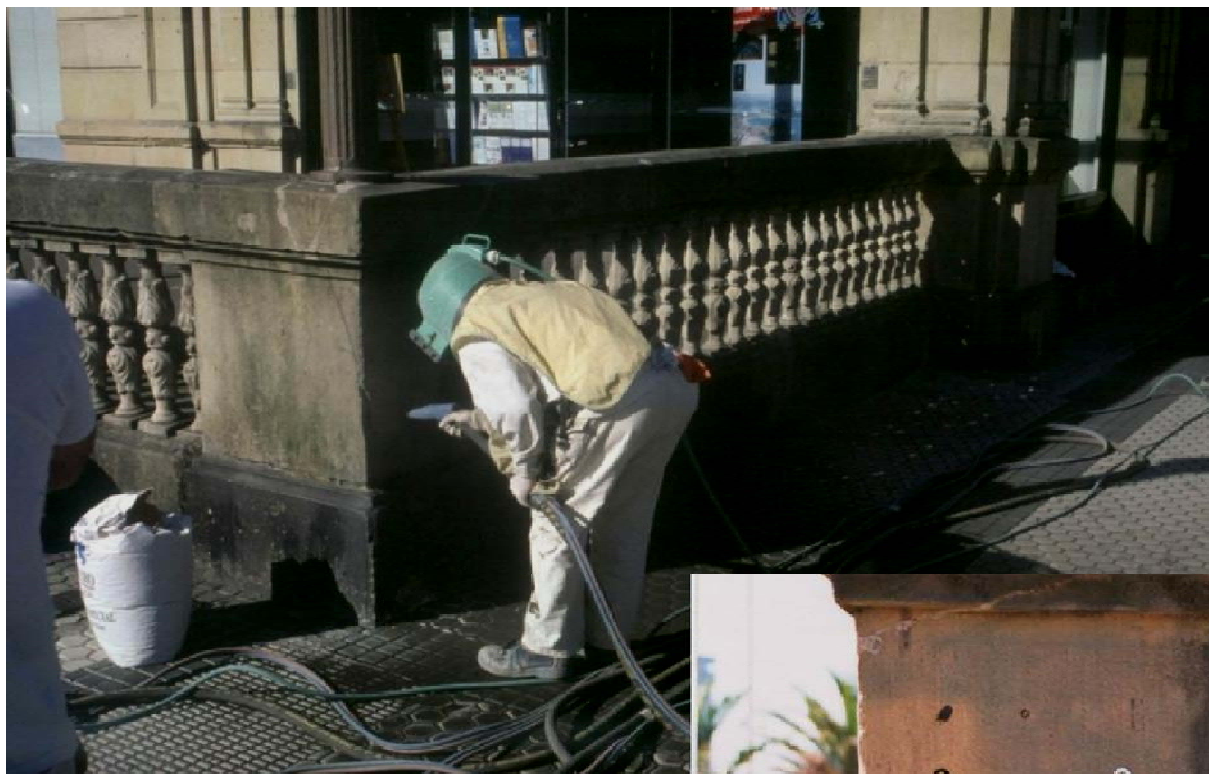




LIMPIEZA MECÁNICA
MICROCHORRO ABRASIVO
Ensayos previos



Calle del Águila (Oviedo)



LIMPIEZA MECÁNICA
MICROCHORRO ABRASIVO
 Ensayos previos

Microabrasivímetros:

- Boquillas: 0,7-1,8 mm
- Presión: 0,2-1,5 bares



Teatro Victoria Eugenia (San Sebastián)





BlastMate MicroStrip

LIMPIEZA MECÁNICA MICROCHORRO ABRASIVO Equipos - Abrasivos



Pencil MiniBlaster 1

NOMBRE	COMPOSICIÓN	TAMAÑO	FORMA	DIÁMETRO BOQUILLA	PRESIÓN
Webusiv	Silicato de aluminio	WS1 (500 – 100 μm) WS9 (90 – 180 μm)	Alargadas y angulosas	1,5 mm 6 mm	< 0,25 kg/cm ² < 0,75 kg/cm ²
Glassfine	Vidrio sodo-cálcico	GF2 (250 – 106 μm)	Irregulares	1,5 mm 6 mm	< 0,25 kg/cm ² < 0,75 kg/cm ²
Piedra pómez	Molienda de piedra pómez	250 – 50 μm	Alargadas y angulosas	1,5 mm 6 mm	< 0,25 kg/cm ² < 0,75 kg/cm ²



Webusiv
(silicato de aluminio)

Piedra pómez



Claustro de la catedral (Oviedo)

LIMPIEZA MECÁNICA
MICROCHORRO ABRASIVO
Ensayos previos



Webusiv

LIMPIEZA MECÁNICA MICROCHORRO ABRASIVO



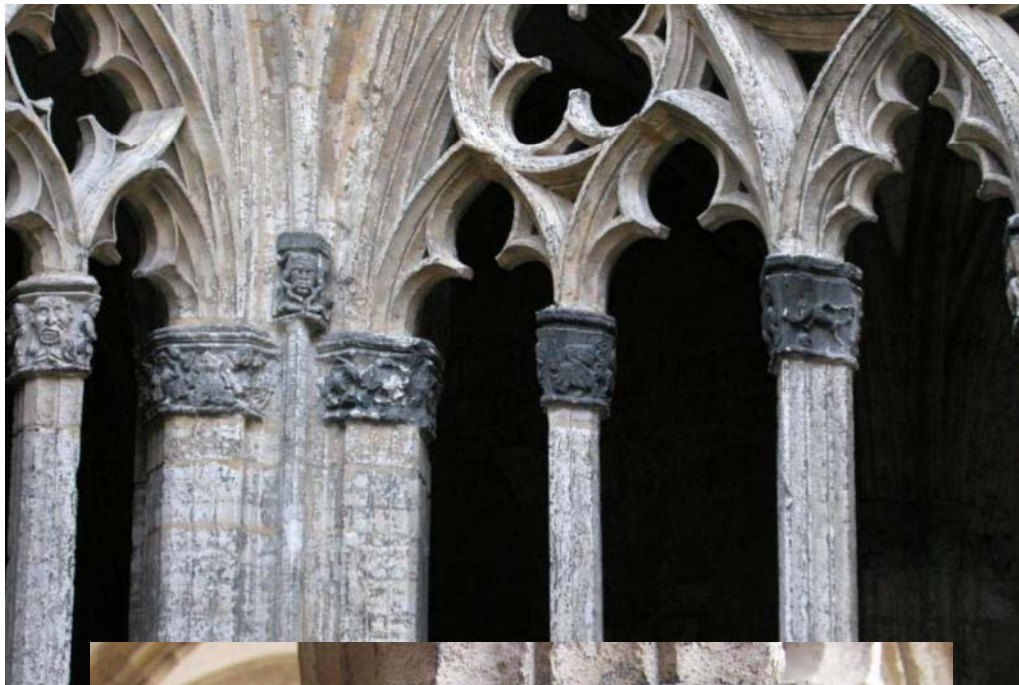
Piedra pómez



Claustro de la Catedral (Oviedo)



**LIMPIEZA MECÁNICA
MICROCHORRO ABRASIVO**



Claustro de la Catedral (Oviedo)



LIMPIEZA CON AGUA

ASPECTOS GENERALES

- **Acción disolvente + reblandece la suciedad**
 - elimina compuestos hidrosolubles
- **Evitar el exceso de agua** (la necesaria, no saturar)
 - comenzar por la zona alta
 - facilitar el drenaje del agua
 - completar la limpieza manualmente
- **Proteger determinadas estructuras o materiales**
 - evitar el contacto con:
 - huecos, grietas, metales, maderas
 - zonas muy alteradas, pinturas,
 - instalaciones eléctricas....

► UNE 41806-2. Técnicas de limpieza con agua



LIMPIEZA CON AGUA

VARIABLES A CONTROLAR ⇒ PRUEBAS PREVIAS

- **Naturaleza del agua: composición**
→ utilizar agua desionizada
 - **Temperatura del agua y del ambiente**
→ no aplicar a bajas temperaturas
 - **Presión aplicada: distancia de aplicación**
→ evitar los daños
 - **Cantidad: tiempo de aplicación**
→ evitar el exceso de agua
- ⇒ *f(características del material y de la suciedad)*



LIMPIEZA CON AGUA

VENTAJAS

- Acción más o menos suave
- Fácil de aplicar
- Económica

INCONVENIENTES

- Daños físico y químicos
- Migración de sales solubles, crecimiento biológico, alteración, corrosión, manchas...
- Infiltración de agua por juntas y fisuras, y penetración por el sistema poroso
- Difícil control: cambio de aspecto al secar
- No aplicar en invierno, en época de heladas

LIMPIEZA CON AGUA

TIPOS

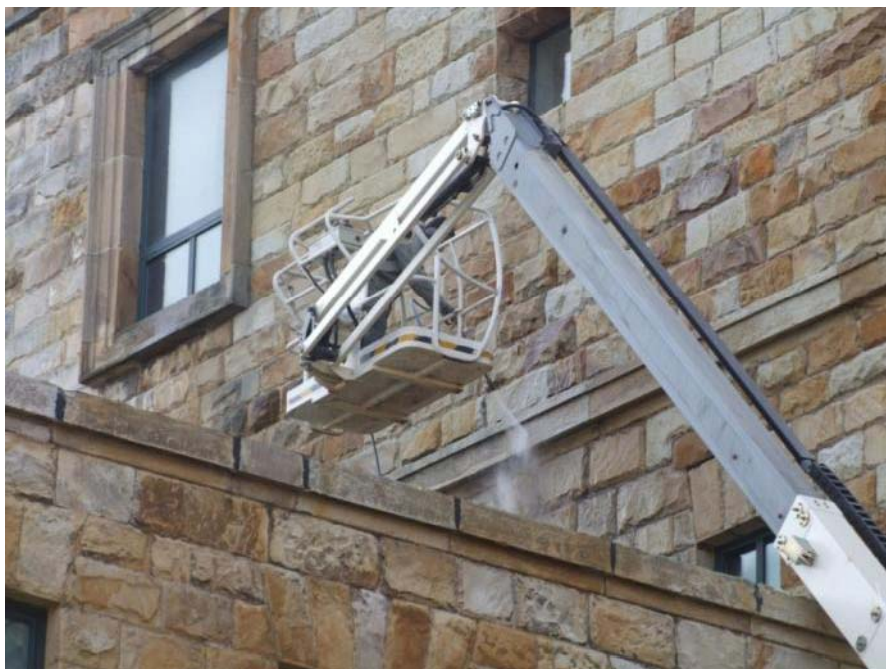
- **Agua a alta presión** (> 34 bares)
 - Chorro de agua
- **Agua a baja presión**
 - Cortina de agua
 - Agua en gotas (lluvia)
- **Agua nebulizada**
- **Vapor de agua**
- **Agua en apósitos**



LIMPIEZA CON AGUA

AGUA A PRESIÓN = CHORRO / CORTINA DE AGUA

- Acción físico-mecánica, además de la acción química
 - Controlar: cantidad de agua, presión cortina (5-10 Kg/cm²)...
 - Mantener un tiempo para ablandar la suciedad
 - Completar la limpieza con un cepillo
- Método más agresivo, rápido, barato
 - Utilizar en piedra coherente, sin arcillas, con pocos poros
 - Permite eliminar costras y sales solubles, en calizas
 - Es fácil la pérdida de material y de mortero en las junta



LIMPIEZA CON AGUA AGUA A PRESIÓN



Universidad Laboral (Gijón)



Monasterio de San Pelayo (Oviedo)

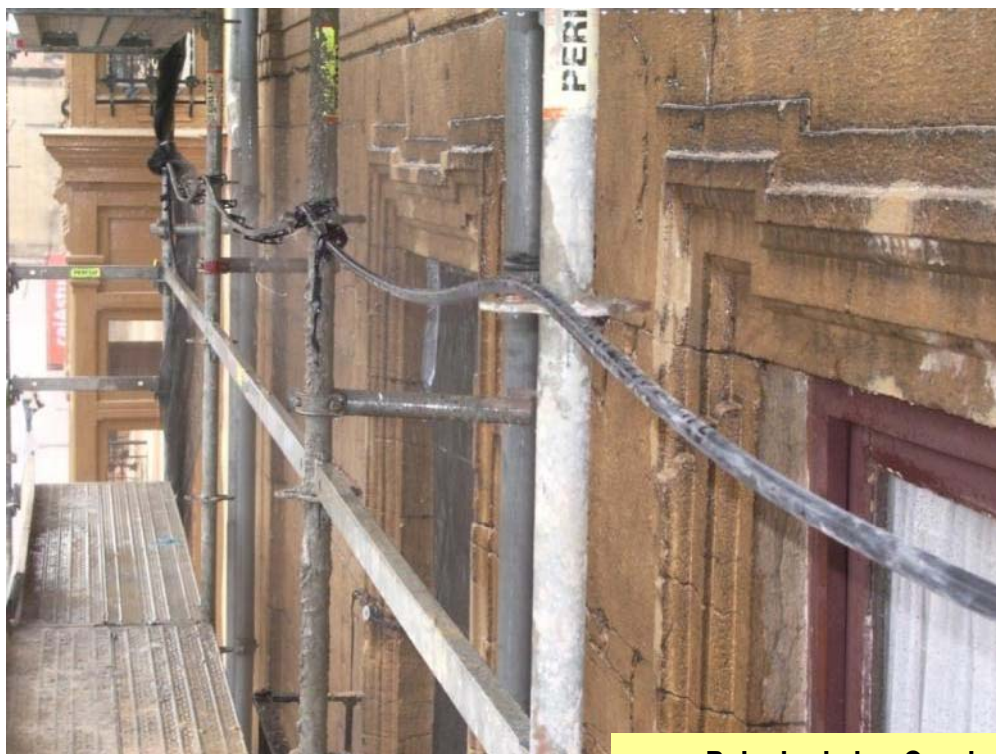
LIMPIEZA CON AGUA

AGUA NEBULIZADA = AGUA ATOMIZADA

- Acción química: gran poder disolvente
 - usar agua desionizada, en pequeña cantidad
 - microgotas (80-120 μm) $\Rightarrow$ elevada superficie específica
 - existen distintas técnicas: con lanceta, con difusores...
acción continua, discontinua...
- Método poco agresivo: reblandece la suciedad
 - proceso lento, completar con métodos manuales
 - utilizar en piedra coherente
 - empezar siempre por la parte superior (ir de arriba abajo)
 - permite llegar a zonas de difícil acceso
 - permite eliminar organismos (algas), costras negras



LIMPIEZA CON AGUA AGUA NEBULIZADA



Palacio de los Condes de Toreno (Oviedo)

LIMPIEZA CON AGUA

VAPOR DE AGUA

- Acción química incrementada por la temperatura
 - presión de aplicación 0,5 kg/cm²
- Método muy agresivo
 - utilizar en superficies irregulares de poco valor
 - comprobar que el material lo soporta
 - problemas debidos a eflorescencias y humedad

LIMPIEZA CON AGUA

APLICACIÓN DE AGUA EN APÓSITOS

- apósitos de celulosa, de arcillas absorbentes
 - empapados en agua desionizada
 - protegidos de la evaporación durante 24 horas
 - dejar que evaporen lentamente
- Utilizar en zonas limitadas: esculturas, relieves...
- ⇒ *Extracción de sales solubles*





Iglesia de Santa María (Laredo)

LIMPIEZA CON AGUA
AGUA EN APÓSITOS
Extracción de sales solubles



LIMPIEZA QUÍMICA

ASPECTOS GENERALES

- **Reacciones químicas:** Procesos irreversibles
- **Para problemas especiales:** Suciedad específica
 - empleado en esculturas, frescos, relieves
 - para eliminar costras de escaso espesor
- **Productos peligrosos:** Difícil de controlar
- **Precisa medidas de seguridad:** Supervisión por expertos

⇒ COMPLEMENTO A LOS SISTEMAS CON AGUA

UNE 41806-5-1. Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de solución.

UNE 41806-5-2. Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de apósitos.



LIMPIEZA QUÍMICA

VARIABLES A CONTROLAR ⇒ PRUEBAS PREVIAS

- **Naturaleza del producto aplicado**
 - utilizar productos envasados, etiquetados
 - evitar pH muy ácidos (< 5) o básicos (> 8)
 - evitar la formación de sales solubles
- **Método de aplicación**
 - en pasta, solución...
- **Temperatura, tiempo de aplicación**
- **Neutralización posterior**

⇒ *f(características del material y de la suciedad)*



LIMPIEZA QUÍMICA

VENTAJAS

- Acelera la limpieza con agua
- Adecuada al tipo de suciedad
- Económica

INCONVENIENTES

- Difícil de controlar
- Precisa neutralización
- Genera productos: sales solubles...
- Produce cambios de color y opacidad

LIMPIEZA QUÍMICA

MEDIDAS DE SEGURIDAD

- Personal con equipo protector completo
- Personal experto en el uso de productos químicos
- Conocer los primeros auxilios y nº de urgencias
- Edificio y andamio completamente protegido
- Productos químicos perfectamente etiquetados y guardados in situ en contenedores seguros
- Impregnar la superficie previamente con agua
- Mantener la superficie siempre húmeda
- Al final lavar con agua hasta neutralizar
- También lavar el andamio y los equipos

LIMPIEZA QUÍMICA

TIPOS

- **Ácidos** → *carbonatos*
- **Básicos** → *yesos*
- **Disolventes orgánicos*** → *grasas*
- **Biocidas** → *organismos*

*Detergentes:

→ líquidos, apolares, pH neutro.



LIMPIEZA QUÍMICA

DISOLUCIONES ÁCIDAS

ESTUVIERON INDICADAS PARA ELIMINAR
COSTRAS NEGRAS EN ROCAS CARBONATADAS:

- Ácido clorhídrico (HCl), sulfúrico (H_2SO_4) y acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$)
- Ácido fosfórico (H_3PO_4) y fosfato amónico ($\text{PO}_4\text{H}_2\text{NH}_4$)
- Ácido fluorhídrico (HF) y fluoruro amónico (NH_4F)
 - ataque muy agresivo, incontrolado
 - efecto muy acusado, duradero
 - aporte de sales más o menos solubles
 - HCl ataca carbonatos, con el Fe amarilleo
 - HF ataca silicatos, con el Fe manchas marrones

LIMPIEZA QUÍMICA

DISOLUCIONES BÁSICAS

ESTUVIERON INDICADAS PARA ELIMINAR
COSTRAS DE YESO EN ROCAS CARBONATADAS:

- Sosa cáustica (NaOH), potasa (KOH), amoníaco acuoso (NH_4OH)
- Carbonato sódico (Na_2CO_3), hipoclorito sódico (NaClO), AB57
- Disolución hexametáfosfato de sodio + formato de amonio
 - importante aporte de sales solubles
 - NaOH eficaz para eliminar costras de yeso en carbonatos
 - NaOH ataca lentamente al cuarzo de grano grueso
 - NaOH ataca rápidamente a la sílice microcristalina
 - KOH desengrasante; disuelve el yeso en calizas

LIMPIEZA QUÍMICA

DISOLVENTES ORGÁNICOS

INDICADOS PARA ELIMINAR MANCHAS DE GRASA, ACEITES, CERAS, ANTIGUOS TRATAMIENTOS:

- Hidrocarburos: tricloroetano, tolueno, xileno, acetona...
- Aminas, disolventes con cloro
 - se aplican: directamente, en apósitos, en geles
 - pueden presentar cambios de color



LIMPIEZA QUÍMICA

BIOCIDAS

INDICADAS PARA ELIMINAR MICROORGANISMOS:

- Productos antisépticos, desinfectantes, fungicidas...
 - Son productos protectores de la colonización
 - No deben dañar la piedra, ni afectar su aspecto
 - No deben ser nocivos

NO ARRANCAR LA VEGETACIÓN

→ matar las raíces



LIMPIEZA QUÍMICA

APÓSITOS, PASTAS, EMULSIONES ± FORMULACIONES ESPECÍFICAS

- **APÓSITOS DE CELULOSA, ARCILLAS ARBSORBENTES**
 - **con disolventes químicos** (para objetos delicados, lento, controlable)
 - **AB57**: agua, bicarbonato de amonio, bicarbonato de sodio, EDTA, desogen, carboximetil celulosa (pH<8); después lavar y cepillar; método rápido, sencillo y barato (no aconsejable en calizas porosas).
 - **Paquete biológico**: pasta de arcilla (sepiolita, atapulgita, paligorskita) con agua urea y glicerina (2 cm de espesor); posible efecto disolvente de las bacterias sobre el yeso y costra negras; después desinfectar.
- **PASTA O POLVO FINO DE RESINA**
 - **resinas de intercambio iónico**

⇒ *Limpieza química*



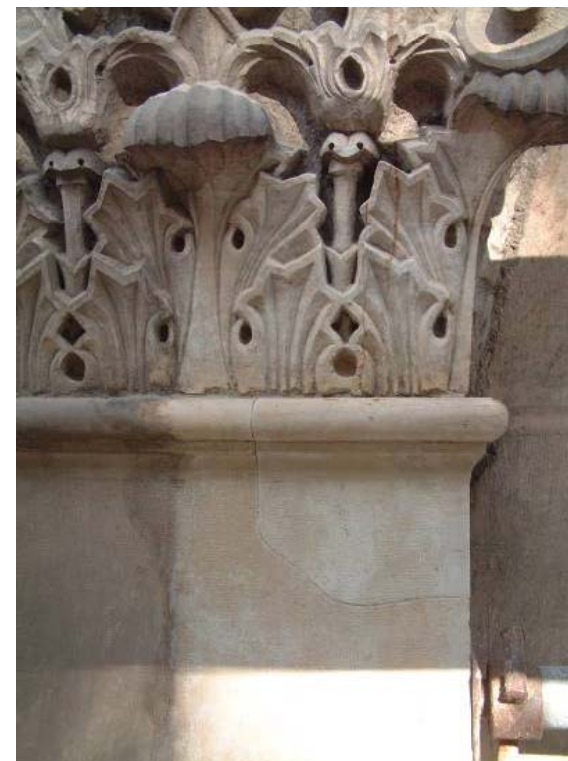


**Cata de limpieza sobre dolomía con
papeta de carbonato de amonio al 5%.**



Biblioteca Nacional (Madrid)

LIMPIEZA QUÍMICA





LIMPIEZA QUÍMICA BIOCIDAS



Roundup

Claustro de la Catedral (Oviedo)

LIMPIEZA LÁSER

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

ASPECTOS GENERALES

- **Desincrustación fotónica** (radiación electromagnética: fotones)
 - monocromática, estimulada, coherente, de alta energía
 - energía dirigida, focalizada, controlada
- **Elimina la suciedad por fotoablación**
 - acción fototérmica: aumento de temperatura (plasma)
 - acción fotomecánica: ondas de choque (sonido)
- **Indicada para eliminar depósitos superficiales, pátinas y costras negras**
- **Realizar pruebas previas, evitar daños:**
 - cambio de color, químico-mineral, fusión, vitrificación..
 - pérdida de materia, cambio de rugosidad



LIMPIEZA LÁSER

EQUIPOS

- **Tres elementos básicos**

- **Fuente de energía: sistema de bombeo** (óptico, electrónico...)
- **Medio activo: sólido Nd-YAG** (genera radiación monocromática)
- **Cavidad óptica resonante: espejos** (amplifica la radiación)

- **Distintos tipos de láser**

- **Medio activo:** gaseosos, sólido, semiconductores...
- **Radiación emitida:** visible, ultravioleta, infrarrojo
- **Potencia:** emisión continua (potencia máxima emitida),
emisión pulsada (duración del pulso, potencia de pico,
energía del pulso, frecuencia de los pulsos)

LIMPIEZA LÁSER

VARIABLES A CONTROLAR ⇒ EN PRUEBAS PREVIAS

- Parámetros del material
 - composición: mineralogía...
 - textura: granulometría...
 - porosidad: cantidad, tamaño...
 - propiedades: dureza...
- Parámetros de la suciedad
 - textura superficial: rugosidad, color...
 - espesor, compacidad, coherencia, dureza...
 - adherencia la sustrato (roca, pátina)
 - distribución: homogeneidad

► UNE 41806-4 IN. Técnicas de limpieza con láser.

► EN 16782:2014. Técnicas de limpieza láser para el patrimonio cultural.



LIMPIEZA LÁSER

VARIABLES A CONTROLAR ⇒ EN PRUEBAS PREVIAS

Parámetros de la técnica:

- Parámetros de emisión (constantes del equipo elegido)
 - Longitud de onda de emisión: $\lambda = 1064 \text{ nm}$
 - Duración del pulso: corto (ns), largo (μs)
 - láser Q-switched: pulsos muy cortos (8-20 ns) de alta potencia
- Parámetros de aplicación (variables a determinar)
 - Energía por pulso: 250-1000 mJ
 - pulsos de baja energía pero muy cortos ⇒ de alta potencia
 - Diámetro del spot / distancia de trabajo: 5 a 10 mm
 - Densidad de energía o fluencia (J/cm^2)
 - valores bajos ⇒ no daños, menor rendimiento
 - Frecuencia de repetición: 5 a 20 Hz (200 Hz)
 - valores bajos, disparos lentos ⇒ mejor control, menor rendimiento
 - Ángulo de incidencia
 - Tiempo de exposición

LIMPIEZA LÁSER

EFECTOS SOBRE LOS MATERIALES

Desprendimiento de la suciedad negra → proceso autolimitativo

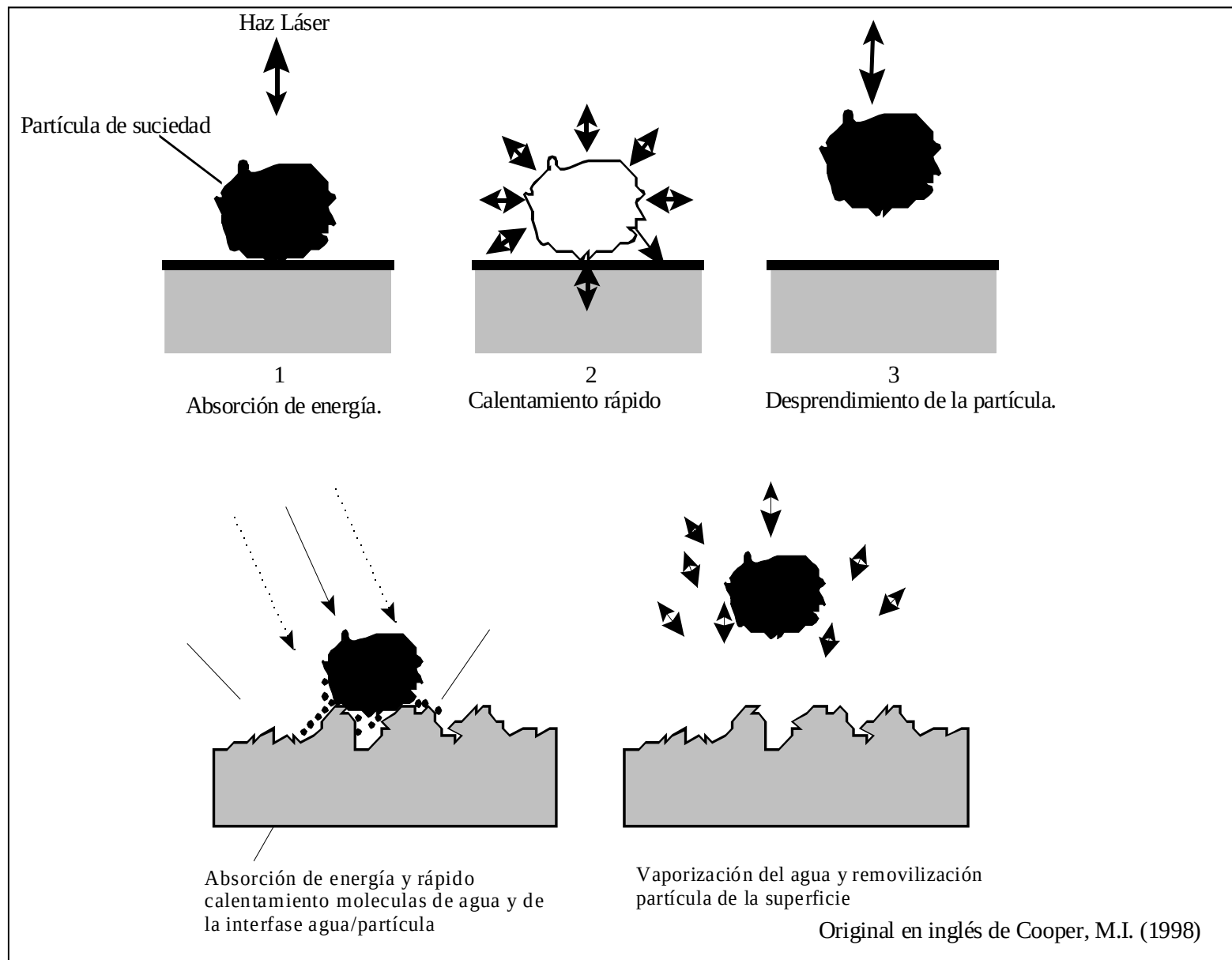
- la superficie oscura absorbe más que la clara
- la superficie rugosa absorbe más que la plana
- la humectación de la superficie mejora el rendimiento

Procesos → densidad de potencia instantánea = irradiancia (W/cm^2)
(donde intervienen la fluencia + duración de pulso + frecuencia de repetición)

- valores bajos ($<10 \text{ MW}/\text{cm}^2$)
→ **régimen termoelástico**, se absorbe el calor: no daños
- valores medios ($10\text{-}100 \text{ MW}/\text{cm}^2$)
→ **régimen de vaporización explosiva**: cambios mineral, color
- valores altos ($>100 \text{ MW}/\text{cm}^2$)
→ **régimen de choque láser**: pérdida de material del sustrato

► Grossi C.M. et al. (2007). *Effect of laser cleaning on granite color*. Color Research and Application, 32, 152-159.





LIMPIEZA LÁSER

VENTAJAS

- **Método poco agresivo**
 - no hay contacto con la superficie
 - no aporta, ni genera productos secundarios
- **Controlable, selectivo, muy preciso**
 - actuación puntual, focalizada
 - elimina la capa negra sin afectar al soporte
- **Permite limpiar piedras poco coherentes**

INCONVENIENTES

- **Coste elevado**
- **Proceso lento**
- **Puede afectar al color**
- **No es efectivo en algunas superficies**

LIMPIEZA LÁSER



Longitud de onda	1064 nm
Duración del pulso	60 – 120 μ s
Frecuencia del pulso	20 Hz
Potencia del equipo	0,1 – 2 J
Diámetro del haz	1,5 – 7 mm
Densidad de energía (fluencia)	6,4 – 113,2 J/cm ²

SMART CLEAN
EI. EN. EOS 1000



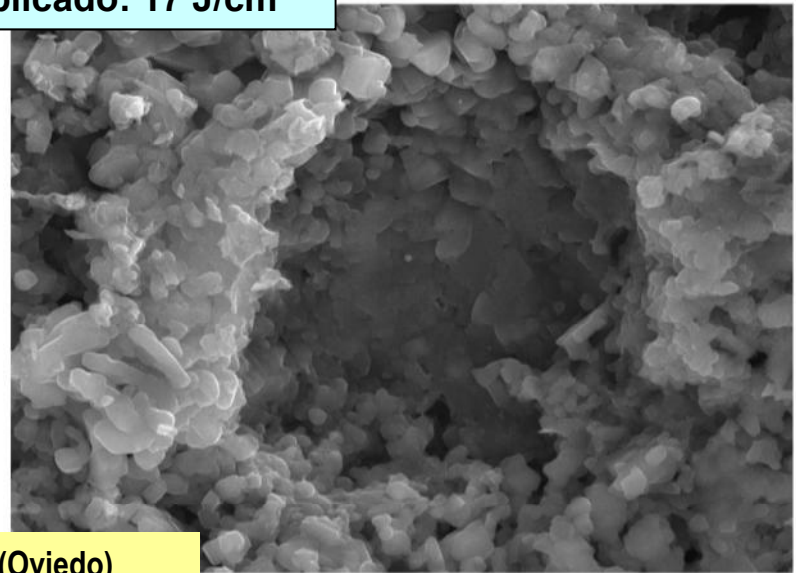
LIMPIEZA LÁSER ENSAYOS PREVIOS



Umbral de daños: 36 J/cm^2
Valor máximo aplicado: 17 J/cm^2



Claustro de la Catedral (Oviedo)



LIMPIEZA LÁSER



Claustro de la Catedral (Oviedo)



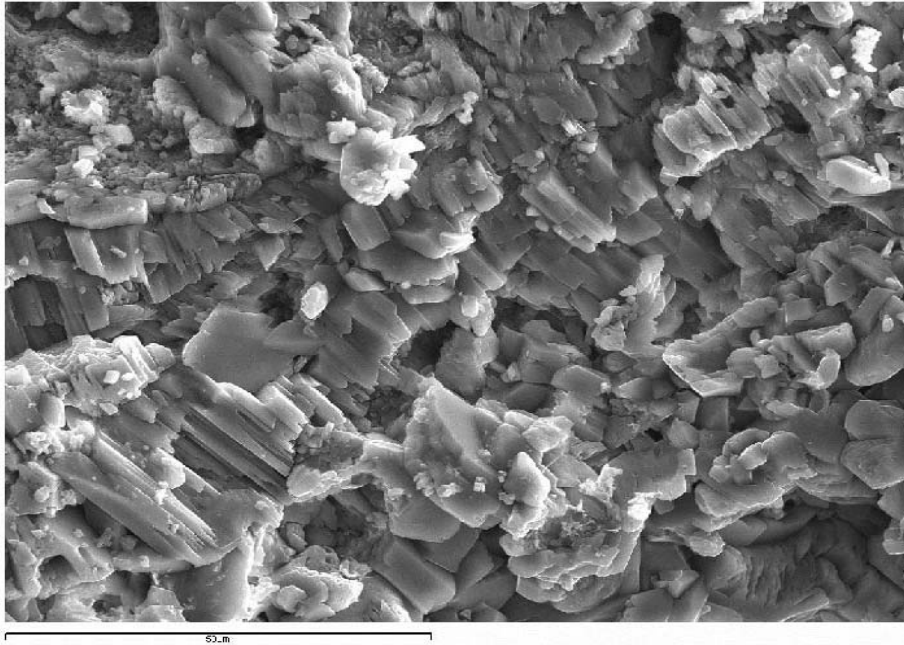
LIMPIEZA LÁSER

► Valdeón L. et al.. (2003). *La limpieza con láser de la piedra del claustro de la catedral de Oviedo*. Restauración&Rehabilitación 81, 42-47.

Claustro de la Catedral (Oviedo)

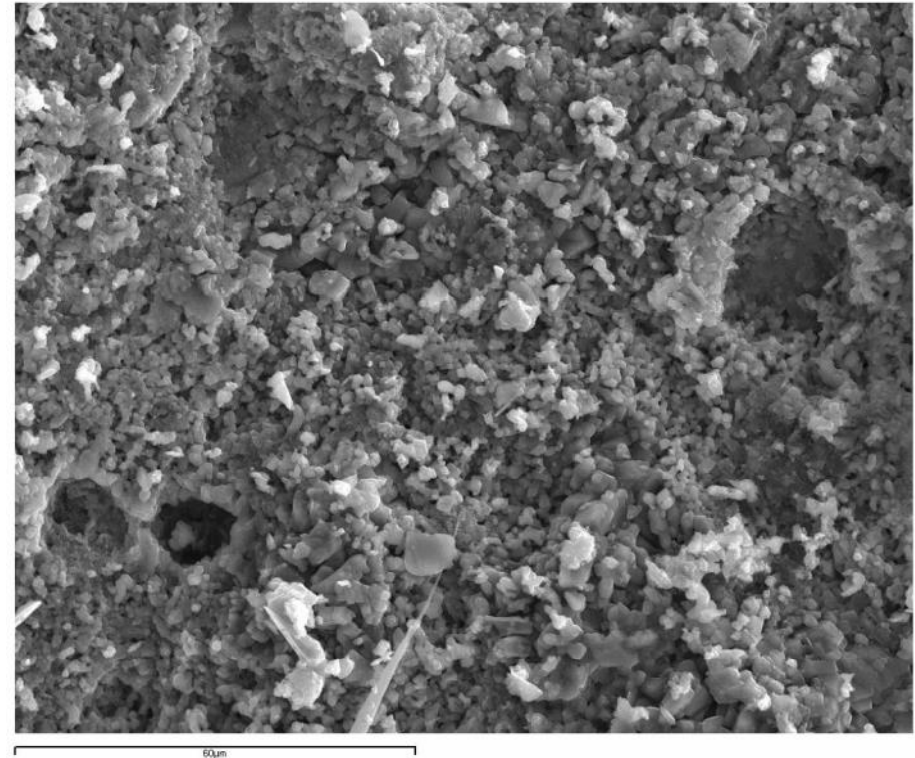


LIMPIEZA LÁSER



**Aspecto superficial de la pátina
histórica limpiada con láser**

Densidad de energía $\leq 36,7 \text{ J/cm}^2$



**Daños inducidos por la radiación
láser en la pátina histórica**

Densidad de energía: $113,2 \text{ J/cm}^2$

OTRAS LIMPIEZAS

- **ULTRASONIDOS**

- aparato que transmite vibraciones a través de una película de agua hacia las costras
- las microndas hacen saltar la costra (2450 Hz)
- ligero lavado con agua para evitar residuos
- limpieza de precisión: actuaciones puntuales
- proceso lento: objetos pequeños
- control del proceso: frecuencia, adherencia



OTRAS LIMPIEZAS

- **EMULSIONES DE LÁTEX**

- con disolventes químicos: ácido etilendiaminatetraacético (AEDT), sal de tetrasodio y amoníaco en solución acuosa
- polimerización: capa de látex que atrapa la suciedad de la superficie; terminar la limpieza con una esponja húmeda (agua destilada).
- elimina la suciedad, el polvo y las manchas



- **LIMPIEZA CRIOGÉNICA**

- con hielo seco (CO_2 congelado) en forma de pellets, que impactan a alta velocidad mediante aire comprimido
- choque térmico (-78°C) que fragiliza los contaminantes
- acción mecánica por impacto que facilita el desprendimiento
- expansión del CO_2 por sublimación, ayuda al desprendimiento





OTROS TIPOS DE LIMPIEZA

Eliminación de la suciedad en florones de la clave de bóvedas

⇒ limpieza con disolventes químicos diluidos en agua.

Descubrimiento de pinturas en los plementos de las bóvedas

⇒ limpieza manual con bisturí, con la ayuda de aire caliente.



Claustro de la Catedral (Oviedo)