

Patologías de fachadas urbanas

Fco. Javier León Vallejo

III JORNADAS SOBRE REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS

Bilbao, 18 y 19 de Diciembre de 2012

ESCUELA DE EDIFICACIÓN Roberto de Molesmes

Envejecimiento de las fachadas de materiales pétreos

Conjunto de alteraciones de la piel de los materiales, causadas simultáneamente por varios tipos de factores:

- *Influencias exógenas:*

a) Agentes atmosféricos:

meteorizan los materiales por mecanismos de tipo físico químico y mecánico.

b) Proceso de ensuciamiento:

por partículas sólidas o líquidas insolubles en agua, de origen biótico o no.



- *Influencias endógenas:*

a) Constituyentes del material que emigran al exterior

b) Materiales adyacentes: sobre todo durante y poco después de las obras



Caracteres de los materiales causantes del envejecimiento

- **La piel:**

Fina capa natural o adquirida, típica de cada material, con propiedades diferenciadas, distinto espesor, y donde suceden las interacciones que causan el envejecimiento

- **La porosidad**



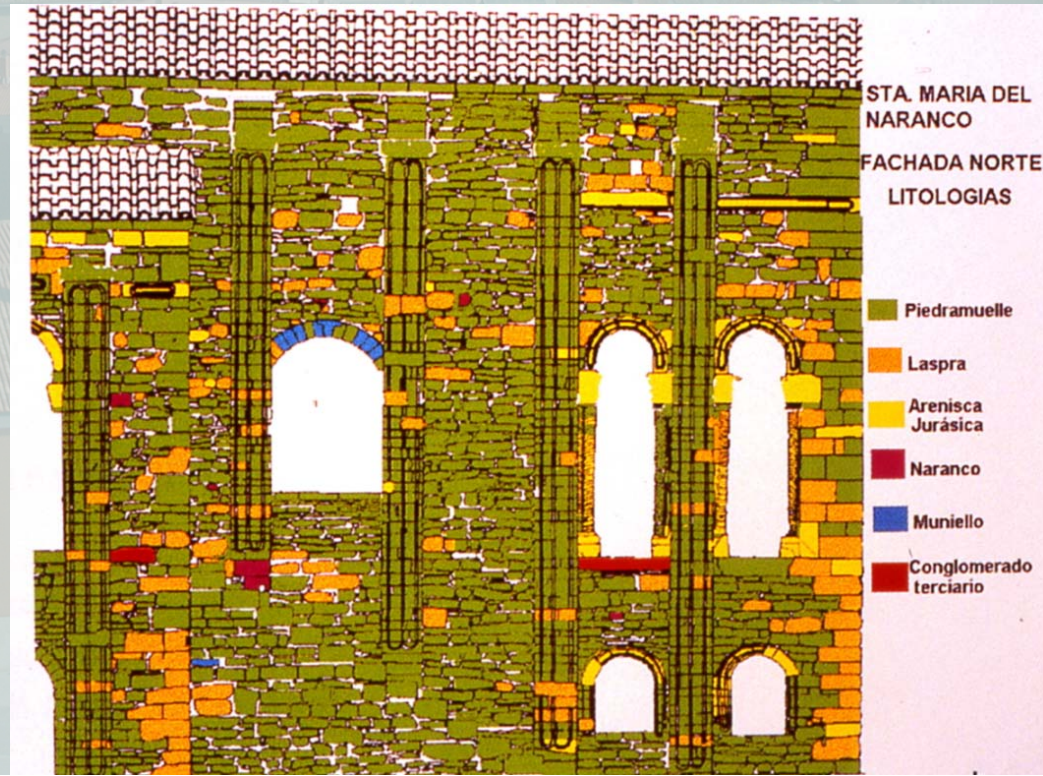
Fichas de inspección de fachadas

1ª Datos del edificio

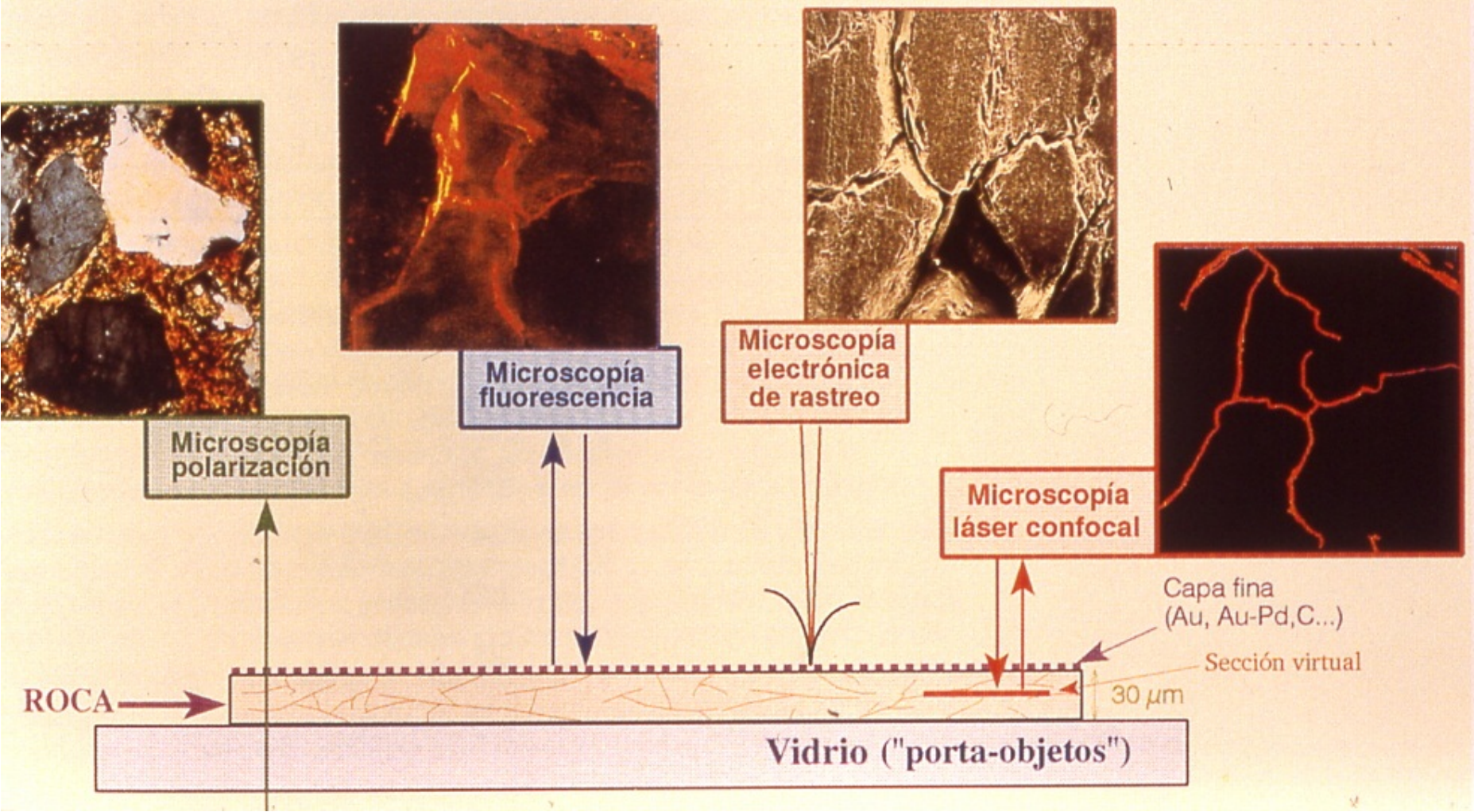
2ª Condiciones del entorno

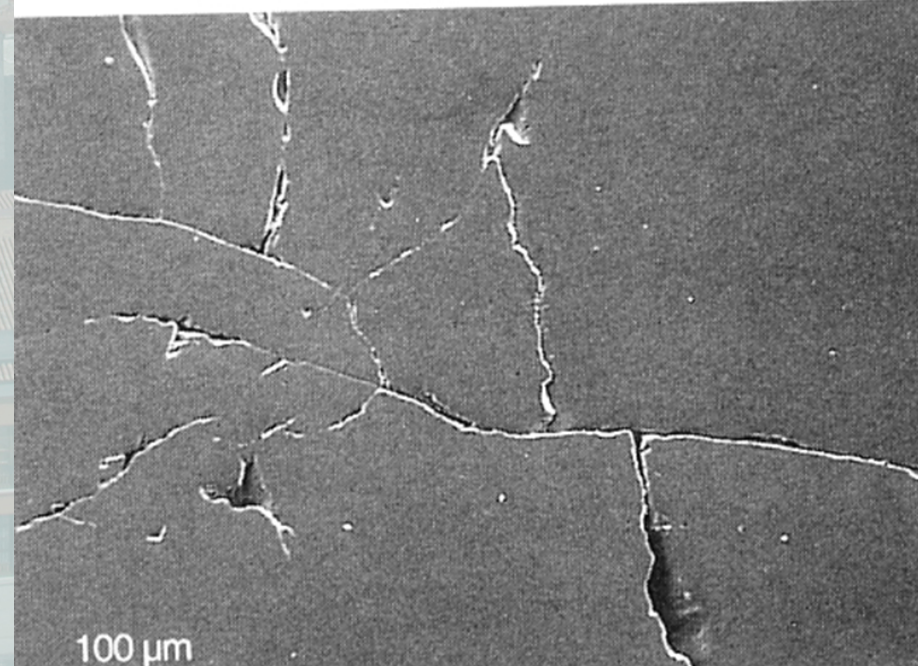
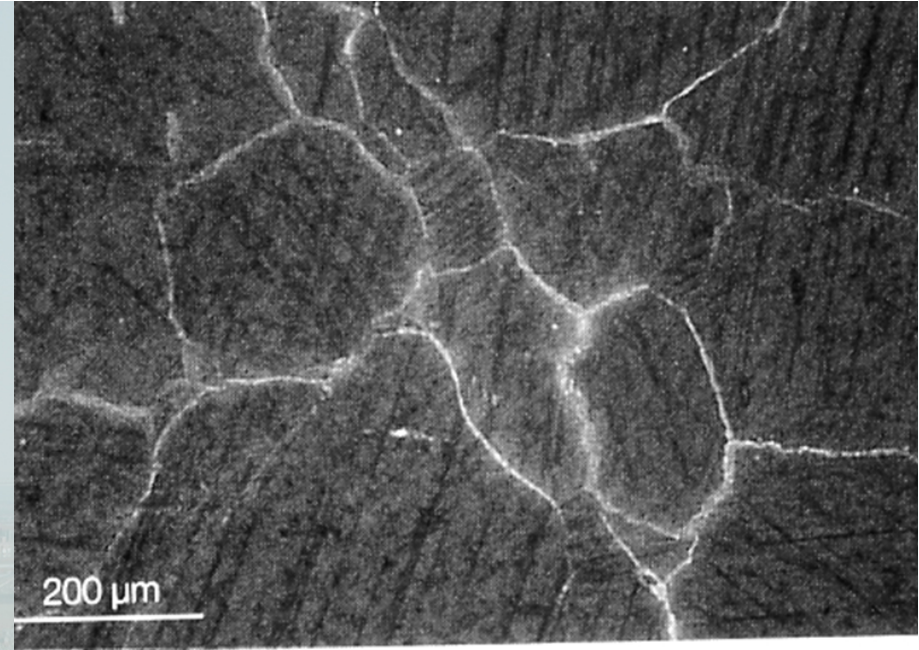
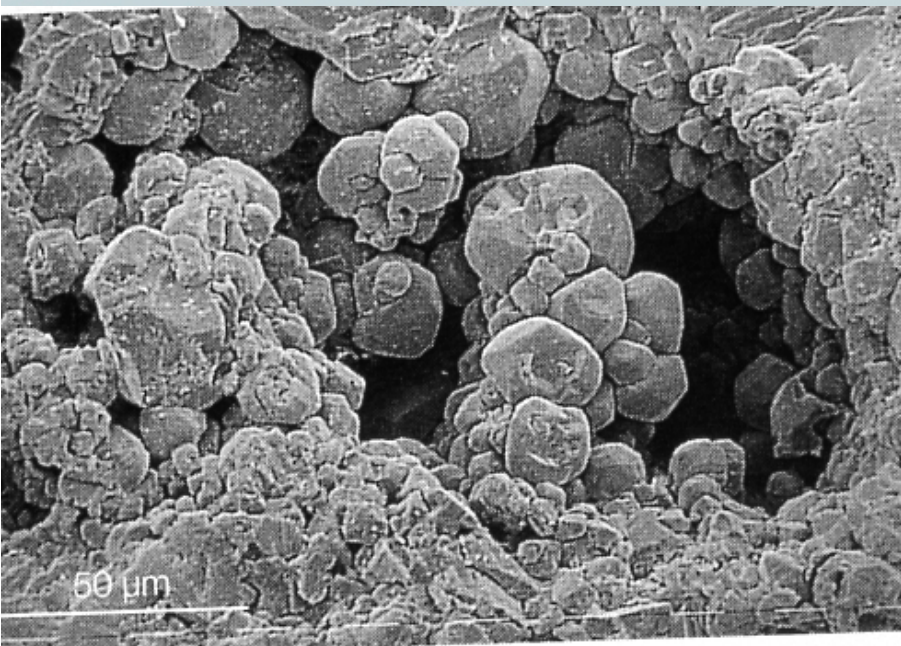
3ª Datos de las lesiones (aspecto):

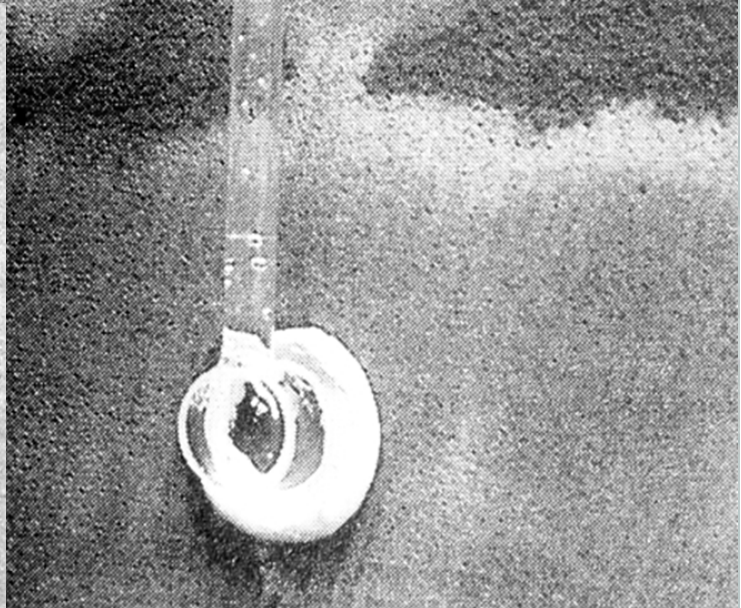
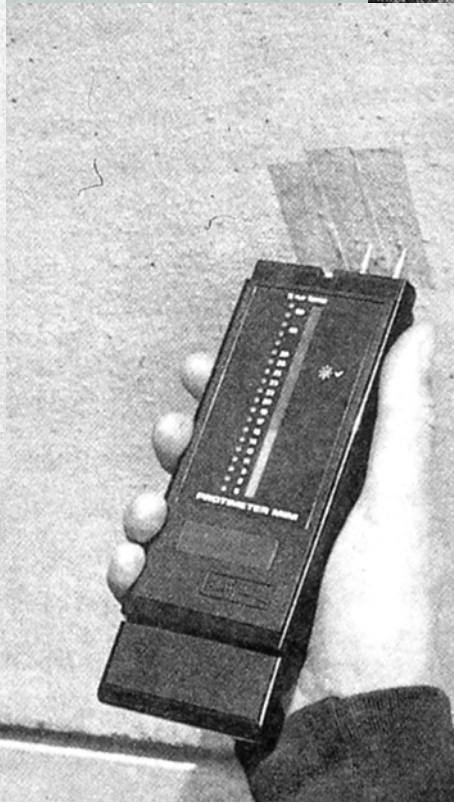
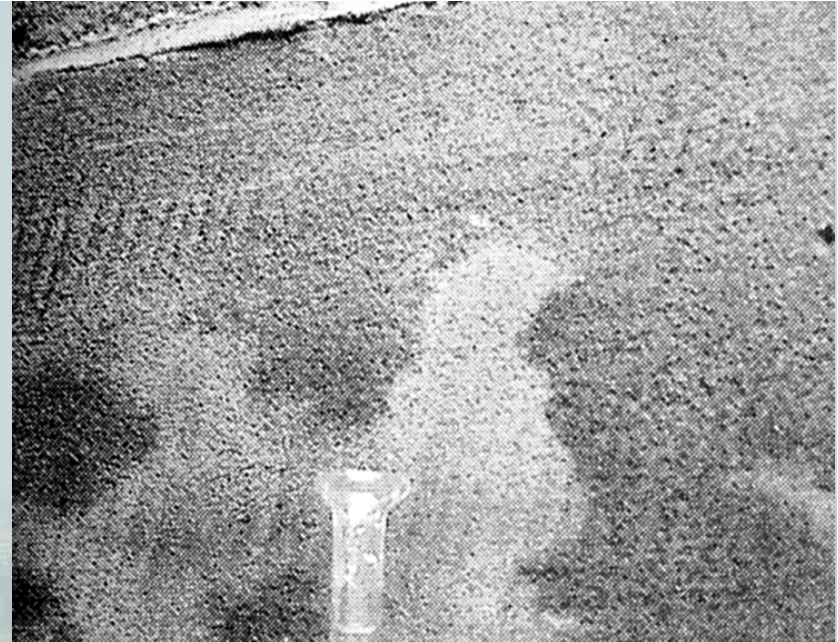
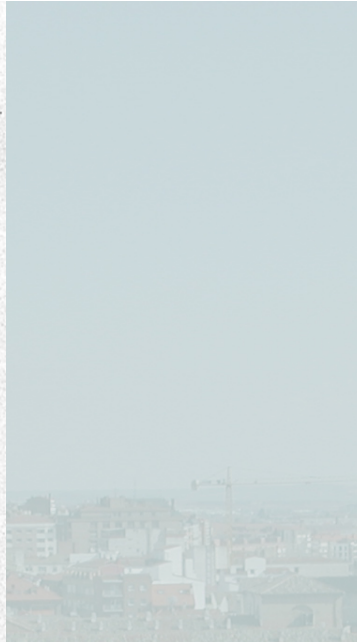
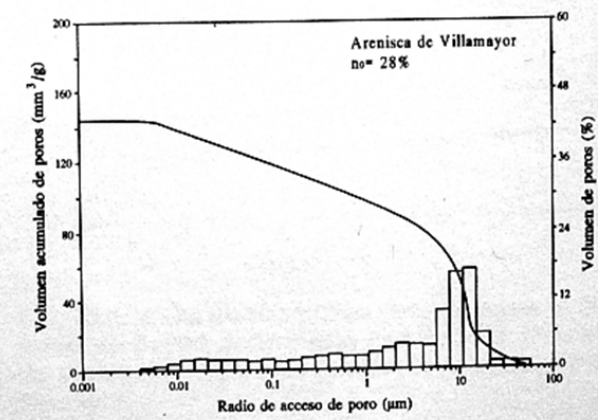
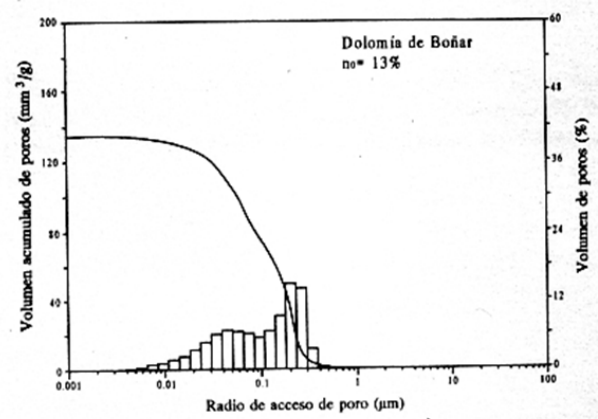
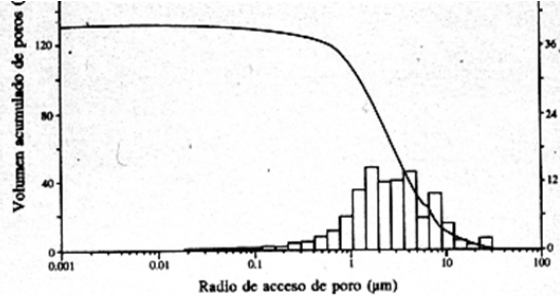
- Ubicación
- Tipo de síntoma: malformación, fractura, deformación, corrosión, cambio de aspecto...
- Caracterización de los síntomas
- Prediagnóstico (opcional)

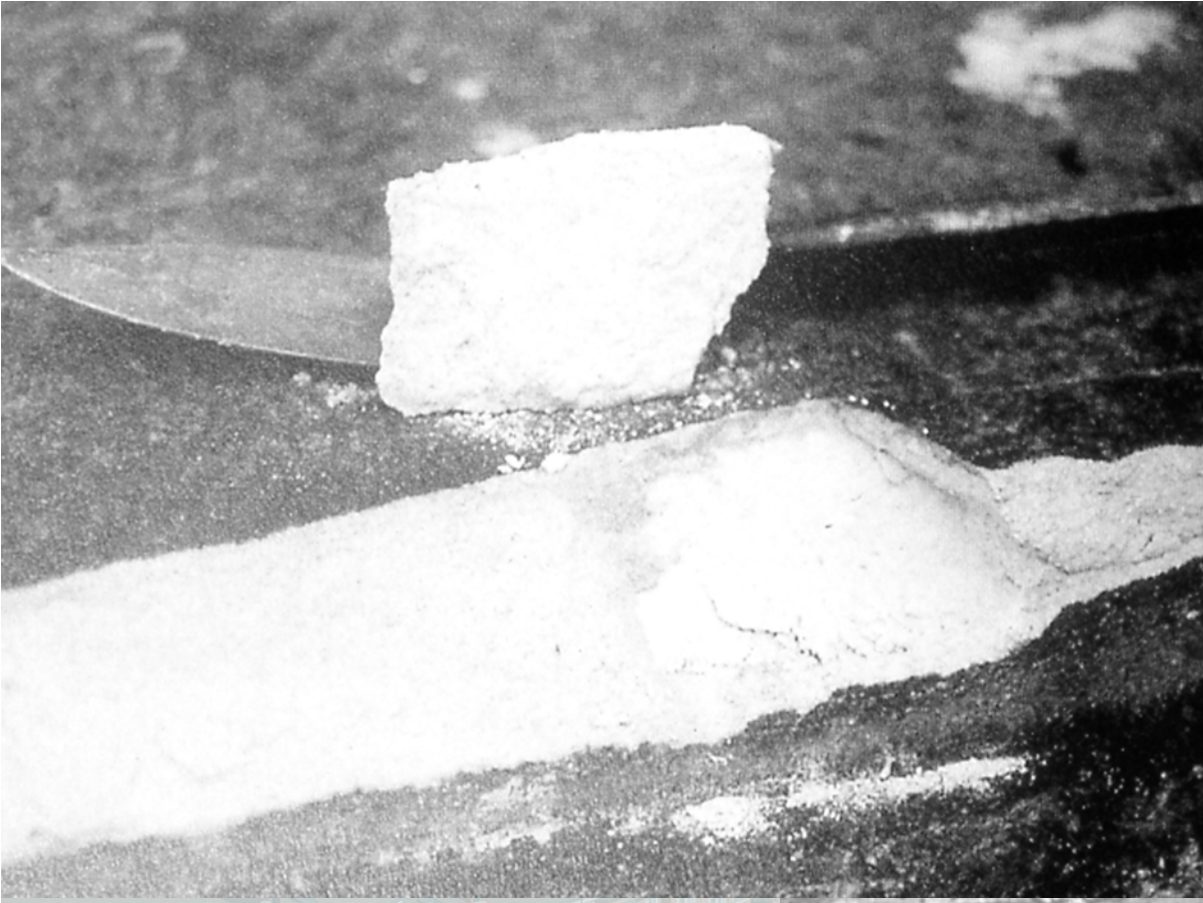


Técnicas instrumentales para diagnóstico









An aerial photograph of a city with a dense grid of buildings. The foreground shows a large square with a central building that has a prominent arched entrance. The buildings have red-tiled roofs and light-colored facades. In the background, a tall tower is visible against a hazy sky. The overall scene is captured from a high angle, providing a comprehensive view of the urban layout.

Diagnóstico: deterioros y sus causas

Movimientos diferenciales de origen térmico

- **Causas:** variaciones de temperatura, contraste térmico, incendio
- **Mecanismos:** dilatación y contracción:
 - *impedida:* tensión inducida $\sigma_t = \alpha \times t \times E$
 - *diferencial:* de materiales unidos con diferentes coeficientes de dilatación
- **Efectos:** grietas, fisuras, desprendimientos, penetración de agua.
- **Actuación:** juntas, lañado, sellado, consolidación



Movimientos diferenciales de origen hídrico

- **Causas:** variaciones de humedad, hidratación
- **Mecanismo:** contracción, retracción, tumidez, comportamiento disarmónico entre piezas y mortero de juntas
- **Efectos:** grietas, afogarado, desprendimientos
- **Actuación:** nuevas juntas; consolidación; hidrofugación; sellado



Cristalización de sales

- **Causas:** porosidad, contenido de sales; fugas saneamiento; ambiente marino; humedad capilar
- **Tipos:**
 - superficial: *eflorescencia*
 - intersticial: *criptoflorescencia*
- **Sales:**
 - sulfato sódico (sal de glauber) y de magnesio (sal de epsom)
 - cloruros, sulfatos y carbonatos de Na, K y Ca



- **Mecanismos:**

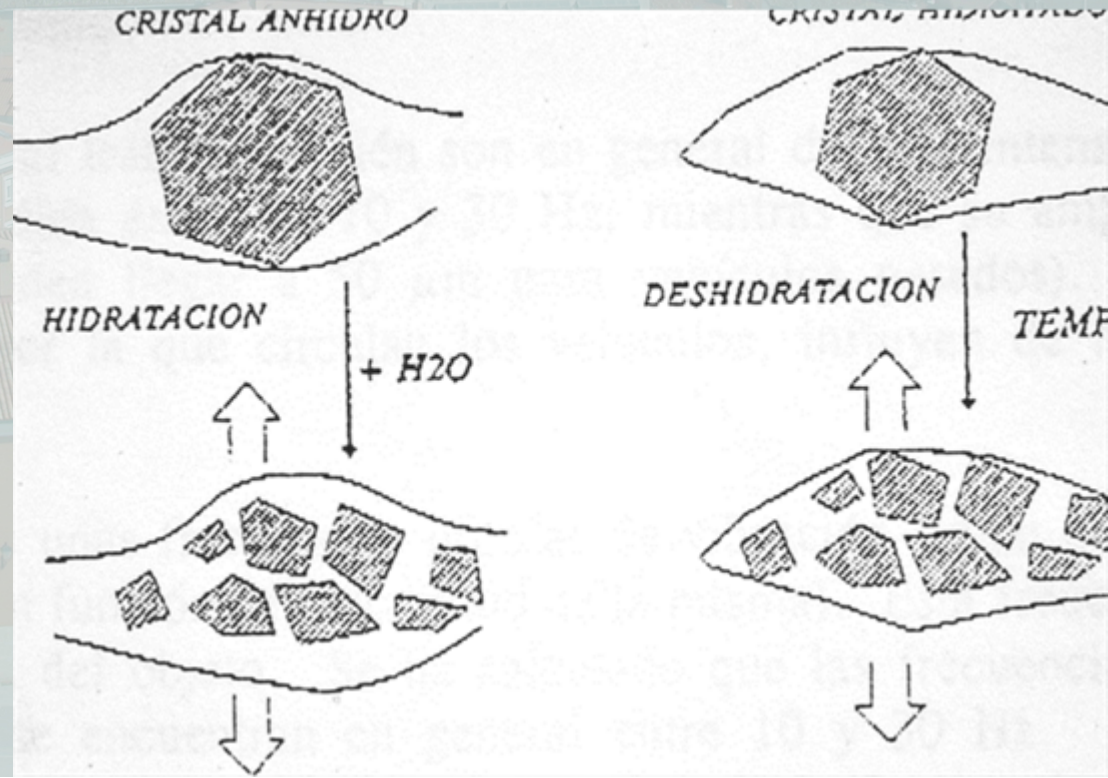
- ciclos de cristalización, por evaporación y disolución
- alargamiento inducido y de rotura en las intersticiales

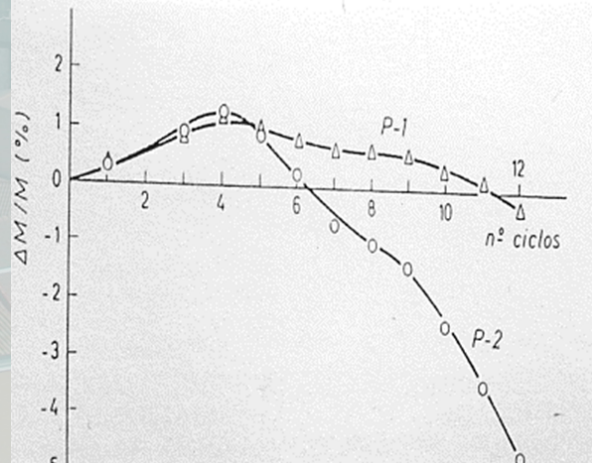
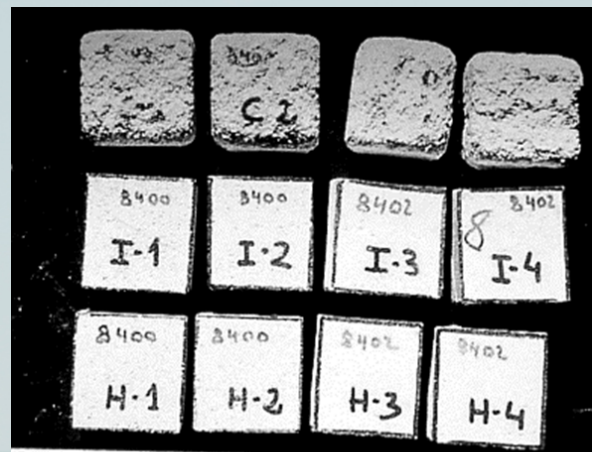
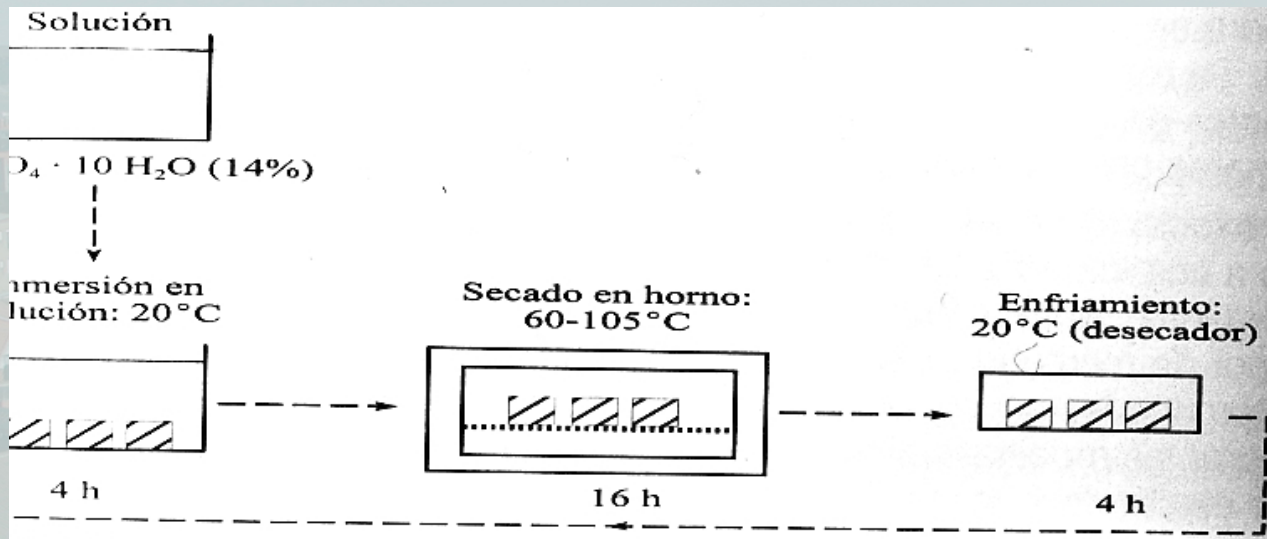
- **Efectos:**

- manchas; descamación; fractura; disgregación
- penetración masiva de agua

- **Actuación:**

- limpieza; consolidación; protección; sustitución; hidrofugación

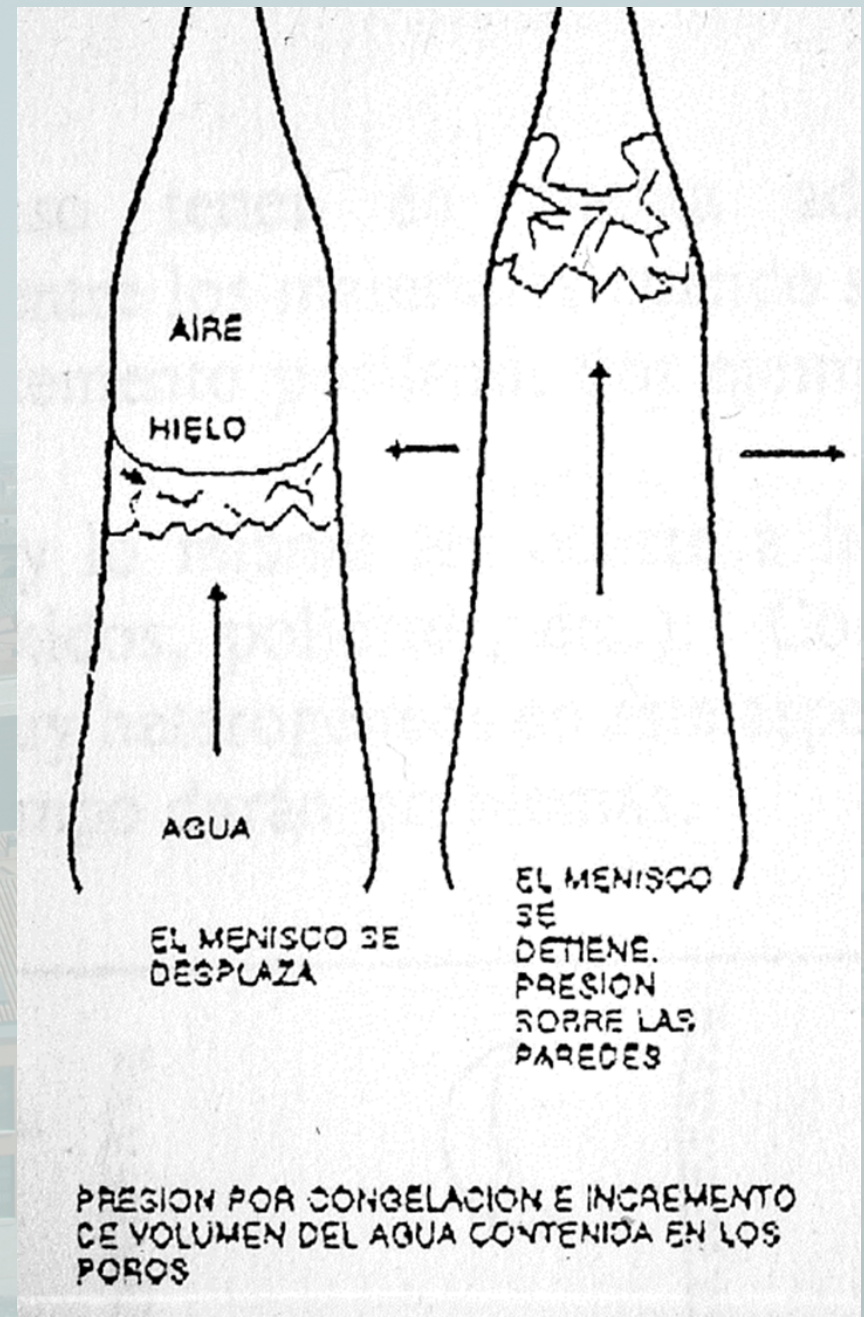
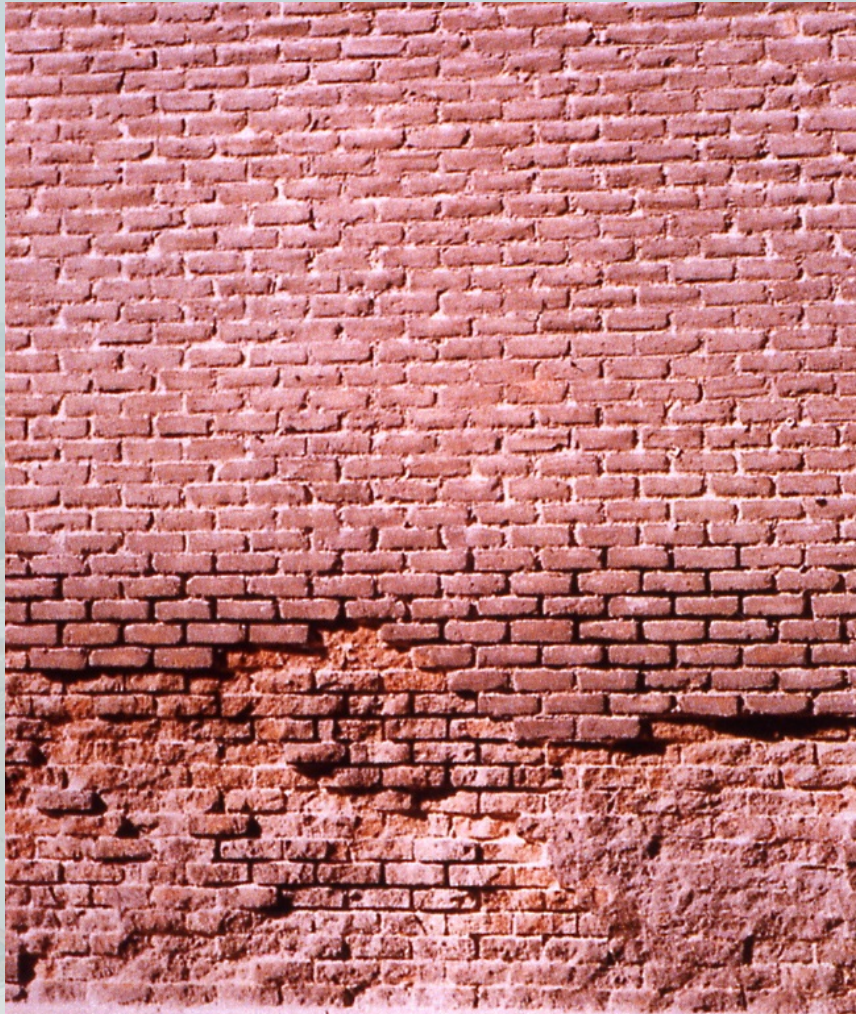




Heladicidad

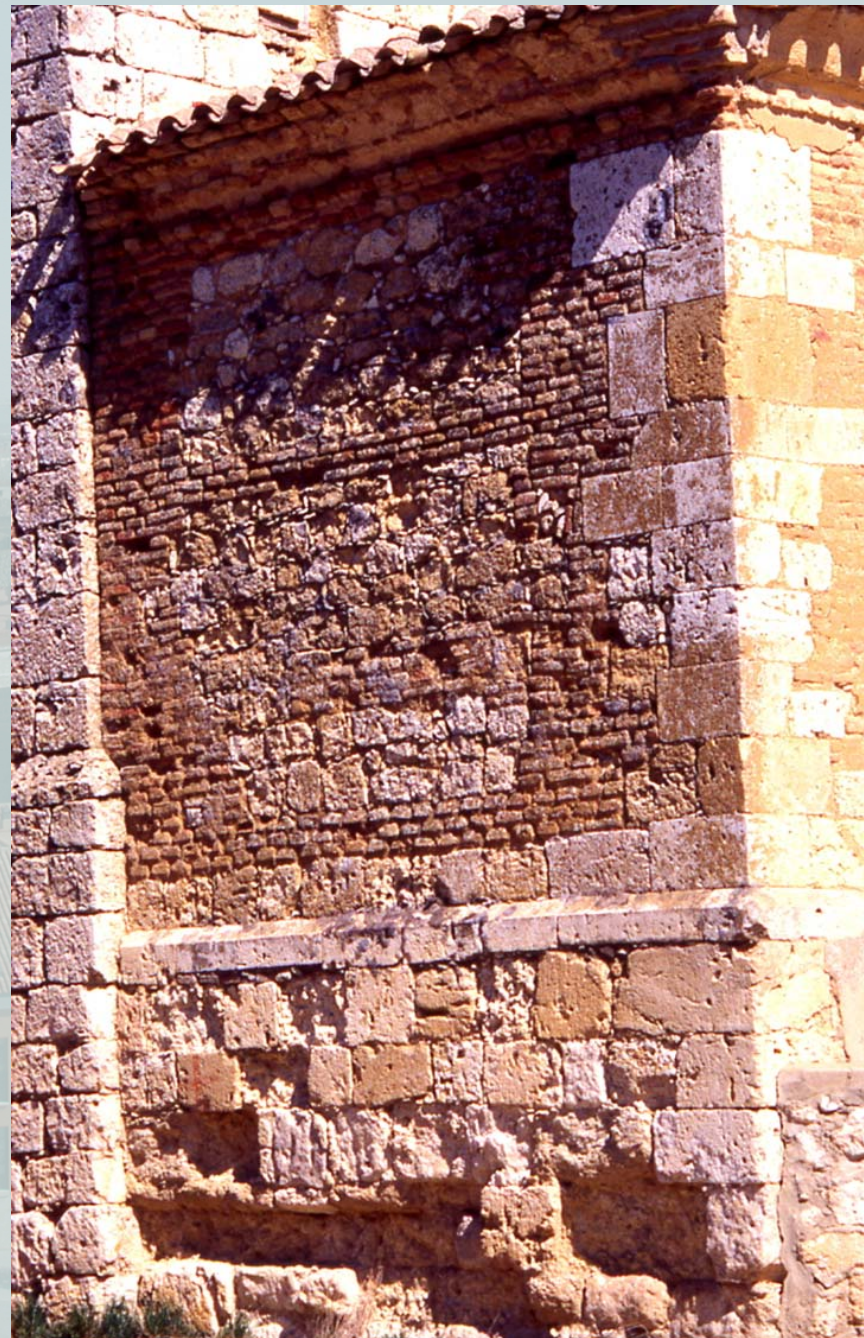
- **Causas:**
 - porosidad accesible: módulo de saturación
 - diámetro de poros y estructura de red capilar
 - alta humedad absorbida; baja t^a frecuente
 - cambio permeabilidad por tratamiento
- **Mecanismo:**
 - expansión confinada por cambio de estado
 - tensiones triaxiales
 - alargamientos: inducido y de rotura
- **Efectos:**
 - fractura; descamación; disgregación
 - penetración masiva de agua
- **Actuación:** consolidación; protección; hidrofugación; sustitución





Erosión

- **CAUSAS:**
 - meteorización, salpicadura de agua, limpieza
 - acción humana, envejecimiento
- **MECANISMO:**
 - *por el uso*
 - abrasión: según dureza, resistencia, alteración
 - rozamiento de personas, objetos, vehículos
 - golpes, caída de objetos, punzonamiento
 - lavado con agua y abrasivos lanzados
 - *ambiental*
 - viento que transporta polvo, arena, objetos
 - agua de lluvia batiente y escurrida.
 - salpicadura de agua, cavitación
 - disolución por agua acidulada (CO_2 , NO_2)
 - erosión interna al penetrar en la porosidad
 - lixiviación: lavado y arrastre, disolución
 - descohesión: fallo adherencia intergranular





Erosión

- **MECANISMO:** abrasión

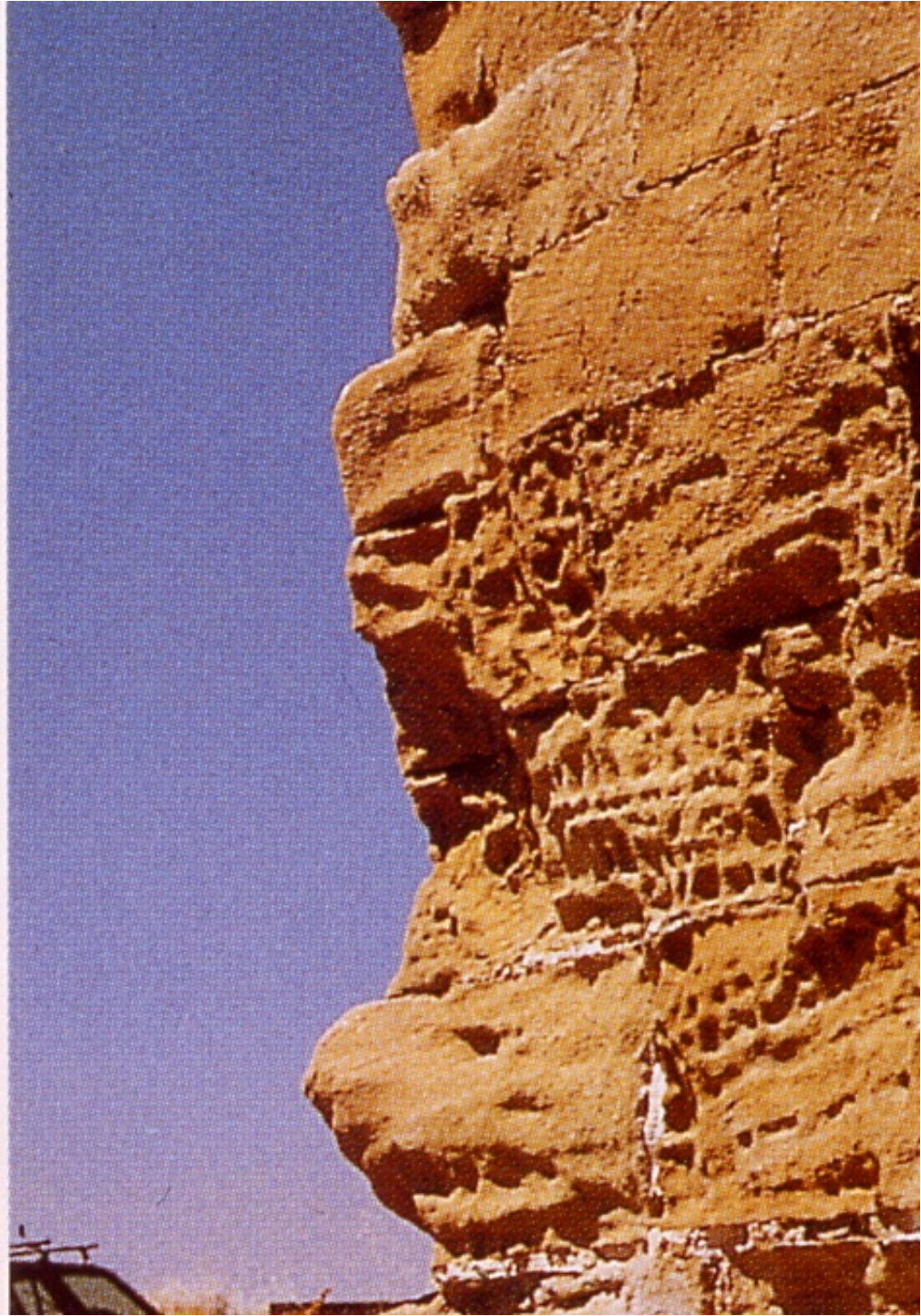
- *formación de costra interna:* por cambios de flujo hídrico
- *caolinización:* hidrólisis y lixiviación de los feldespatos
- *alveolización:* surcos al perder masa (calizas, areniscas)

- **EFFECTOS:**

- pérdida de masa, penetración masiva de agua
- formación de superficie irregulares o romas
- formación salientes residuales (desaparecen)

- **ACTUACIÓN:** consolidación; protección hidrofugación

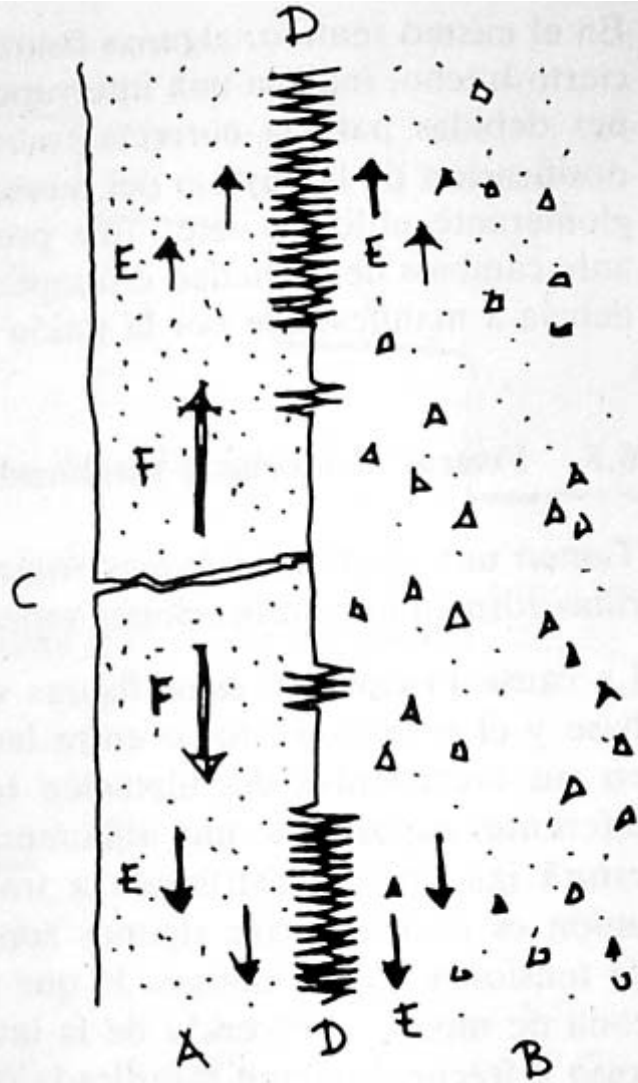






Desprendimientos

- **CAUSAS:**
 - meteorización, dilatación, ataque químico, retracción
 - heladicidad, cristalización sales, envejecimiento, etc.
- **MECANISMO:** destrucción de la interfase soporte/revestimiento por
 - *fallo adherencia mecánica:* rotura bielas de cuelgue
 - *fallo adherencia específica:* destrucción enlaces químicos
pérdida de la afinidad molecular
alteración afinidad electrostática
- **EFFECTOS:**
 - pérdida o caída total o parcial de revocos
 - pérdida o caída de alicatados y aplacados
 - penetración masiva de agua en el soporte
- **ACTUACIÓN:**
 - juntas dilatación; consolidación soporte
 - reposición sellado; hidrofugación; protección



- A: Revestimiento.
- B: Base.
- C: Fisura.
- D: Adherencia.
- E: Fuerzas en el revestimiento que se transmiten a la base a través de la adherencia.
- F: Fuerzas en el revestimiento que no se transmiten a la base, por falta de adherencia, y









Ataque químico

- **CAUSAS:** procesos industriales, fraguado, uso aditivos meteorización, agua capilar, limpieza química deyecciones de animales
- **MECANISMOS:** *en morteros*
 - sulfatación, formando etringita muy expansiva
 - hidratación expansiva óxidos libres cemento (CaO, MgO, SO₃)
 - disolución de compuestos hidratados cálcicos del cemento
 - acción de aguas puras, agresivas, marinas
 - ataque de gases ácidos y ácidos orgánicos e inorgánicos
 - ataque de líquidos corrosivos



Ataque químico

- MECANISMOS: *en la piedra*

- sulfatación de calizas y areniscas
- bicarbonatación de calizas
- acción de cloruros
- caolinización de granitos
- cloritización de granitos
- corrosión por nitratos, azufre y fosfórico

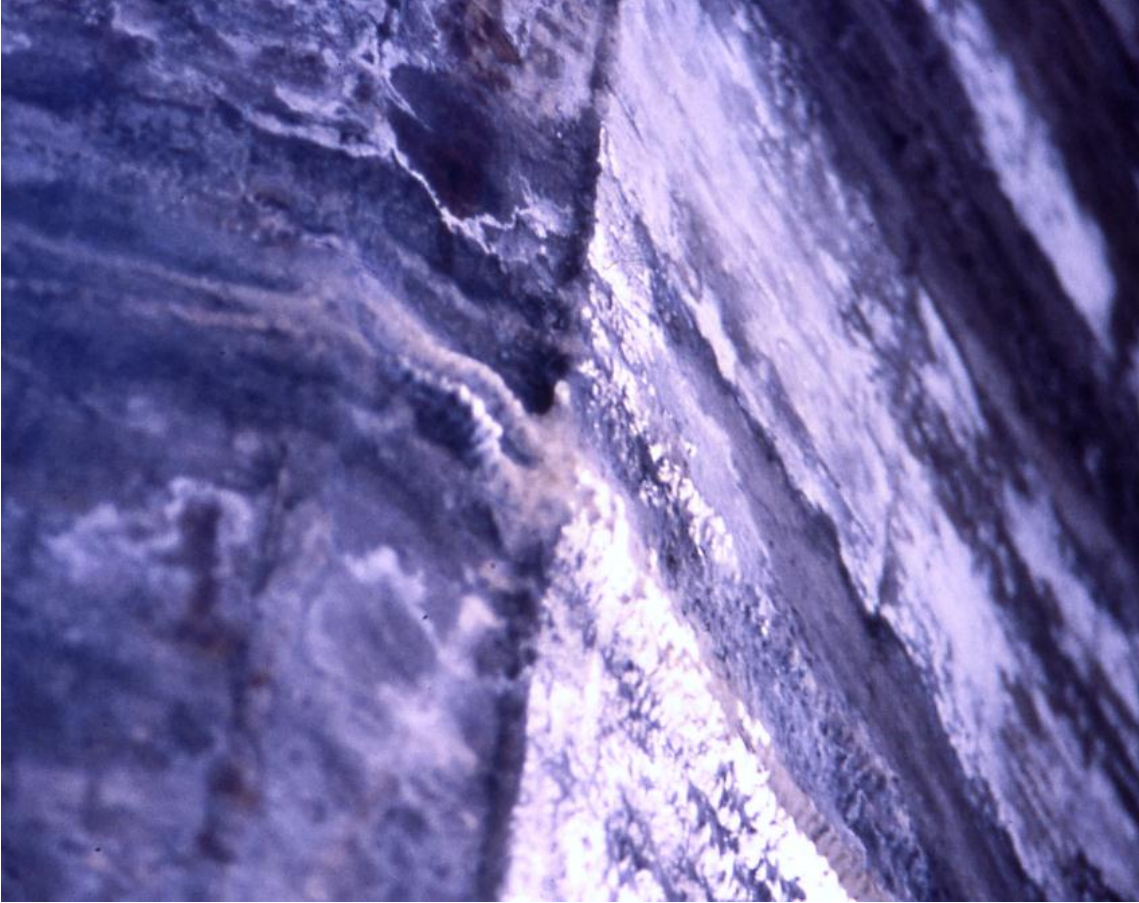
- EFECTOS:

- agrietamiento, disgregación, erosión
- formación de costra, desprendimiento, descamación
- penetración masiva de agua

- ACTUACIÓN:

consolidación; hidrofugación; protección





Corrosión electroquímica

- **CAUSAS:**
 - superficie del metal no homogénea
 - presencia de polvo o suciedad
 - presencia inicial de óxido
 - metal con cristales de distinto potencial
 - contacto con pastas, morteros y hormigones
 - existencia de par galvánico
 - aireación diferencial en zonas poco ventiladas
- **MECANISMO:** oxidación catalizada por agua acidulada (electrolito)
- **EFFECTOS:** pérdida de masa; descamación; cambio de color
- **ACCIONES:** limpieza; pasivación

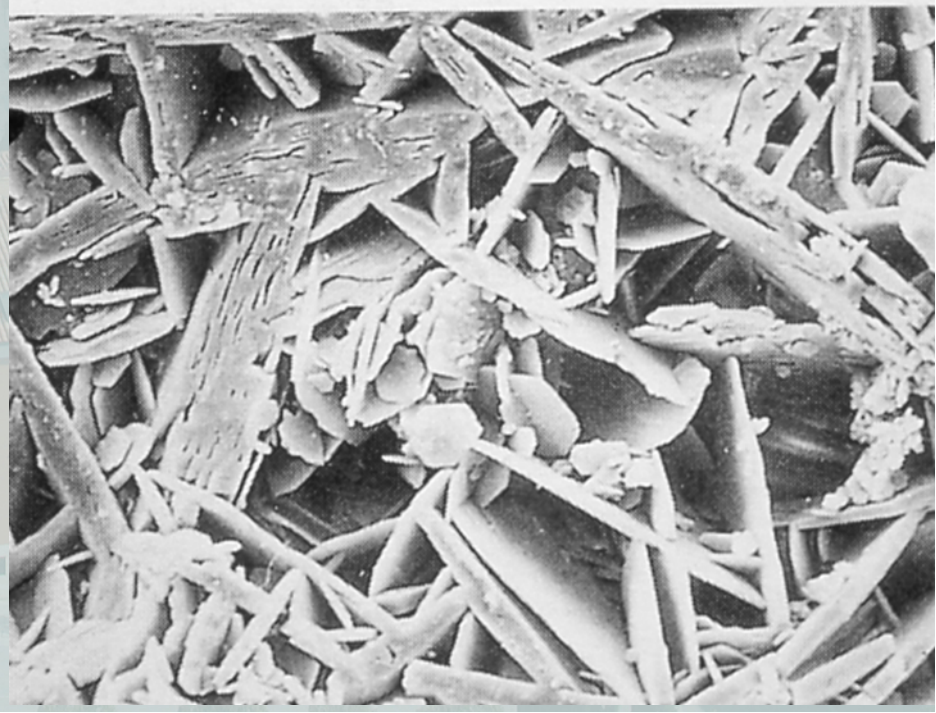


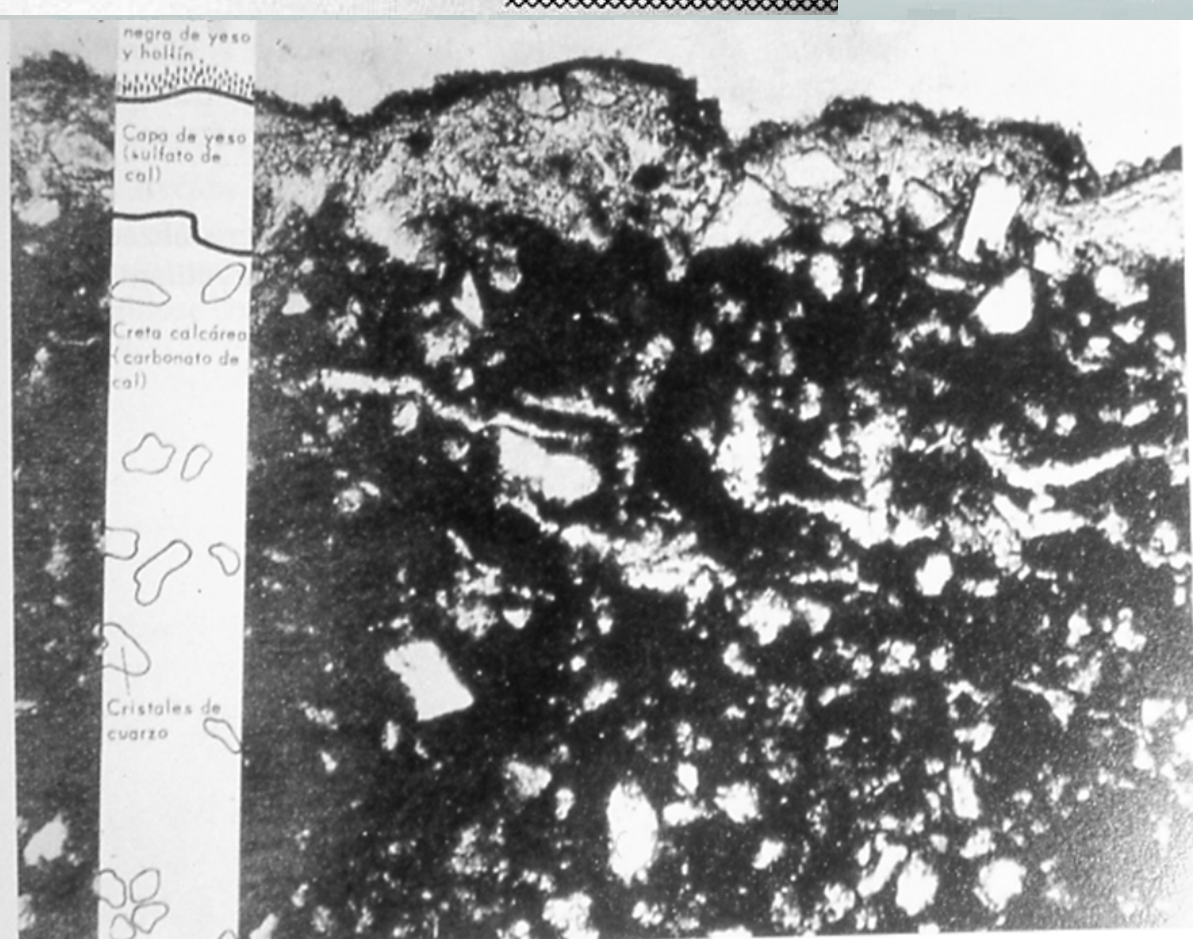
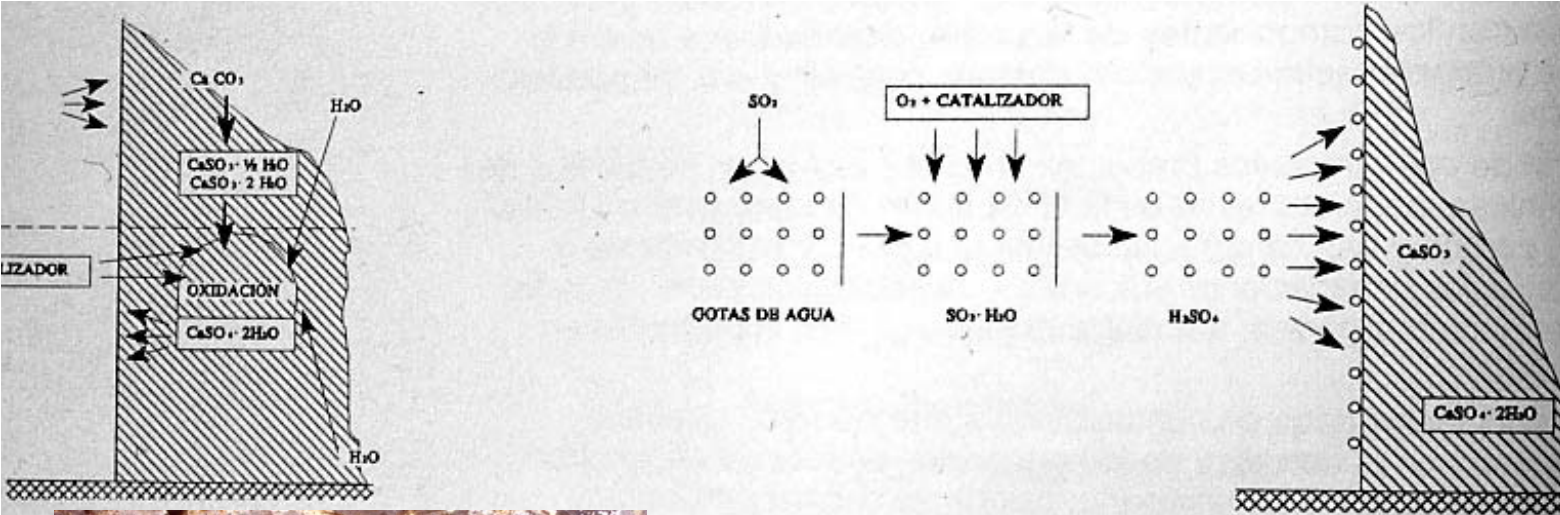
Ensuciamiento por contaminación atmosférica

- CAUSAS: partículas en la atmósfera
 - hollín, ceniza, minerales, esporas
- MECANISMOS:
 - 1ª etapa: deposición/transferencia de partículas
 - 2ª etapa: adhesión de la contaminación
 - 3ª etapa: desarrollo del ensuciamiento



Fig. 175. Spherical magnetite particles generated by the combustion of fossil fuels were found by S Istrian stone $\times 1000$ Courtesy of E.L. Palmieri [12].





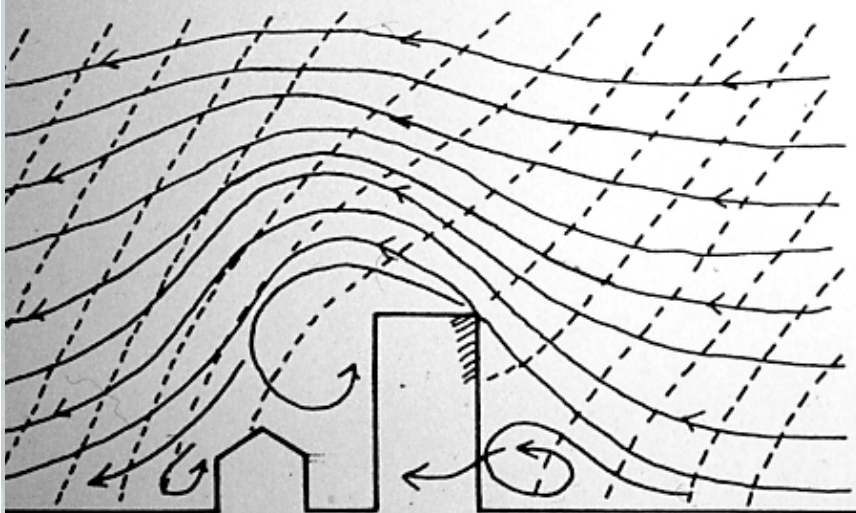
Ensuciamiento por contaminación atmosférica

DESARROLLO DEL ENSUCIAMIENTO

a) agentes climáticos:

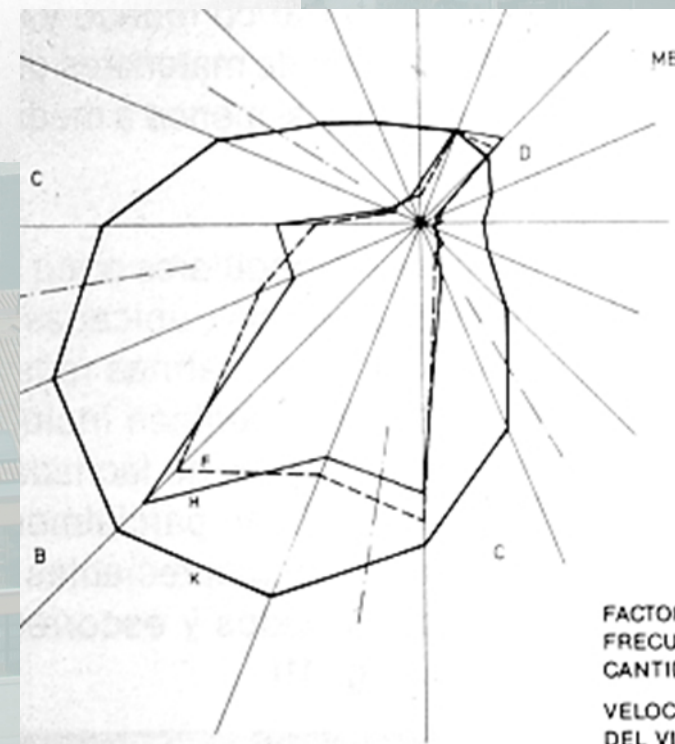
- *viento*: factor protección
- *lluvia batiente*: factor exposición: limpieza
- *lluvia escurrida*: escurriduras limpias/sucias
- *temperatura*: acción indirecta
- *vapor de agua*: condensación

ación del par viento/lluvia sobre edificios
diferente grado de protección.



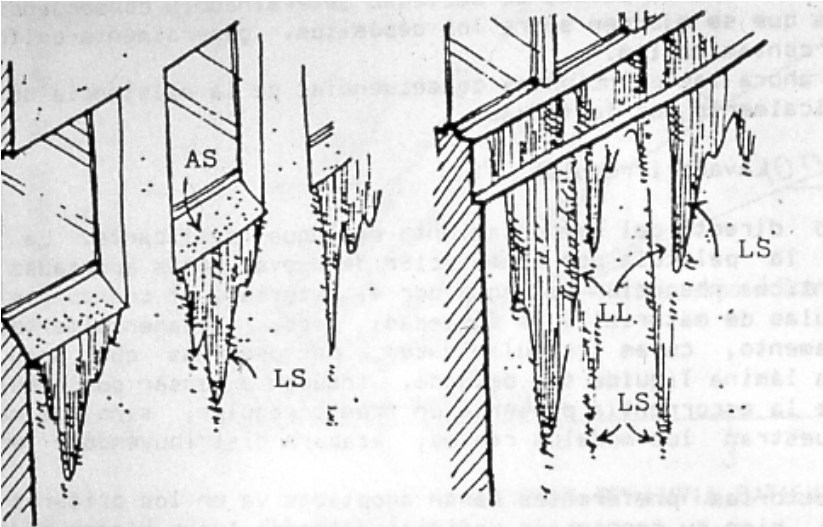
← FLUJO DE VIENTO
- - - LLUVIA BATIENTE
////// INCREMENTO DE MO.

SECCION



MEDIA ANUAL

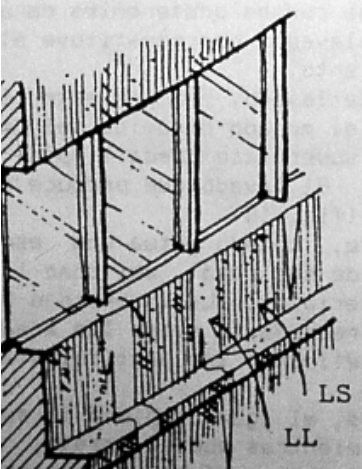
FACTOR DE EXPOSICIÓN (K)
FRECUENCIA DE LLUVIA (F)
CANTIDAD DE LLUVIA (H)
VELOCIDAD MEDIA
DEL VIENTO (V)
INTENSIDAD DE LLUVIA (I)



LL: lavado "limpio"

LS: lavado "sucio"

AS: acumulación de

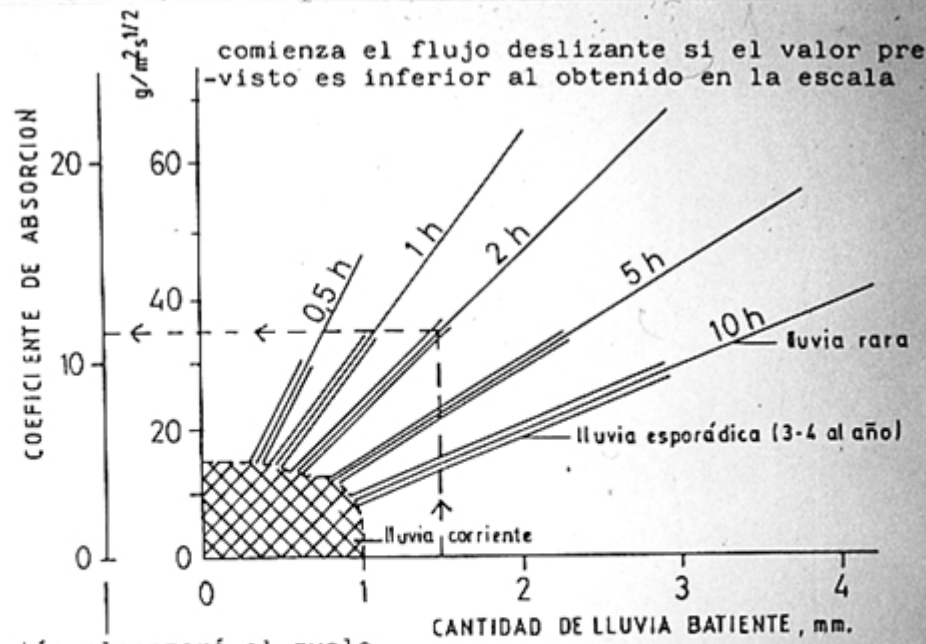


Ensuciamiento por contaminación atmosférica

DESARROLLO DEL ENSUCIAMIENTO

b) Caracteres de los materiales de acabado:

- *porosidad* absorción
- *rugosidad* volumen depósitos;
trayectoria de la escorrentía
- *color*: manifestación/percepción de suciedad



la escorrentía alcanzará el suelo con valor inferior al de la escala



Influencia del coeficiente de absorción del material de una fachada sobre el flujo de agua escurrida que resulta de lluvias batientes de distintos tipos y frecuencias (3)

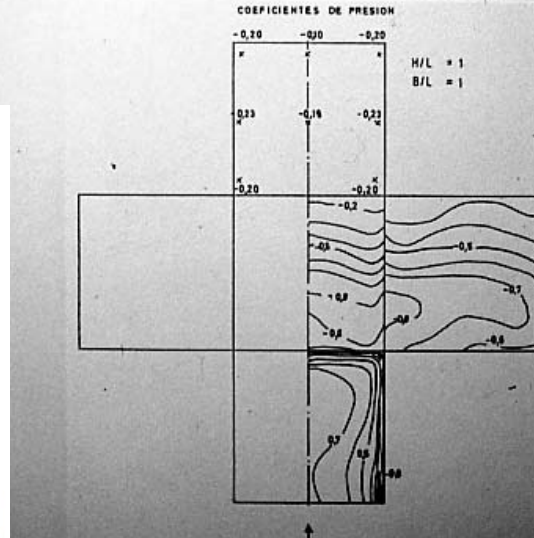
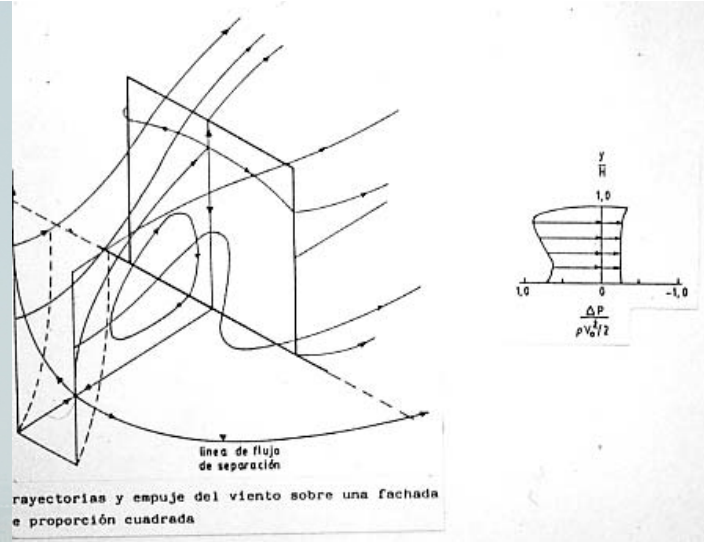


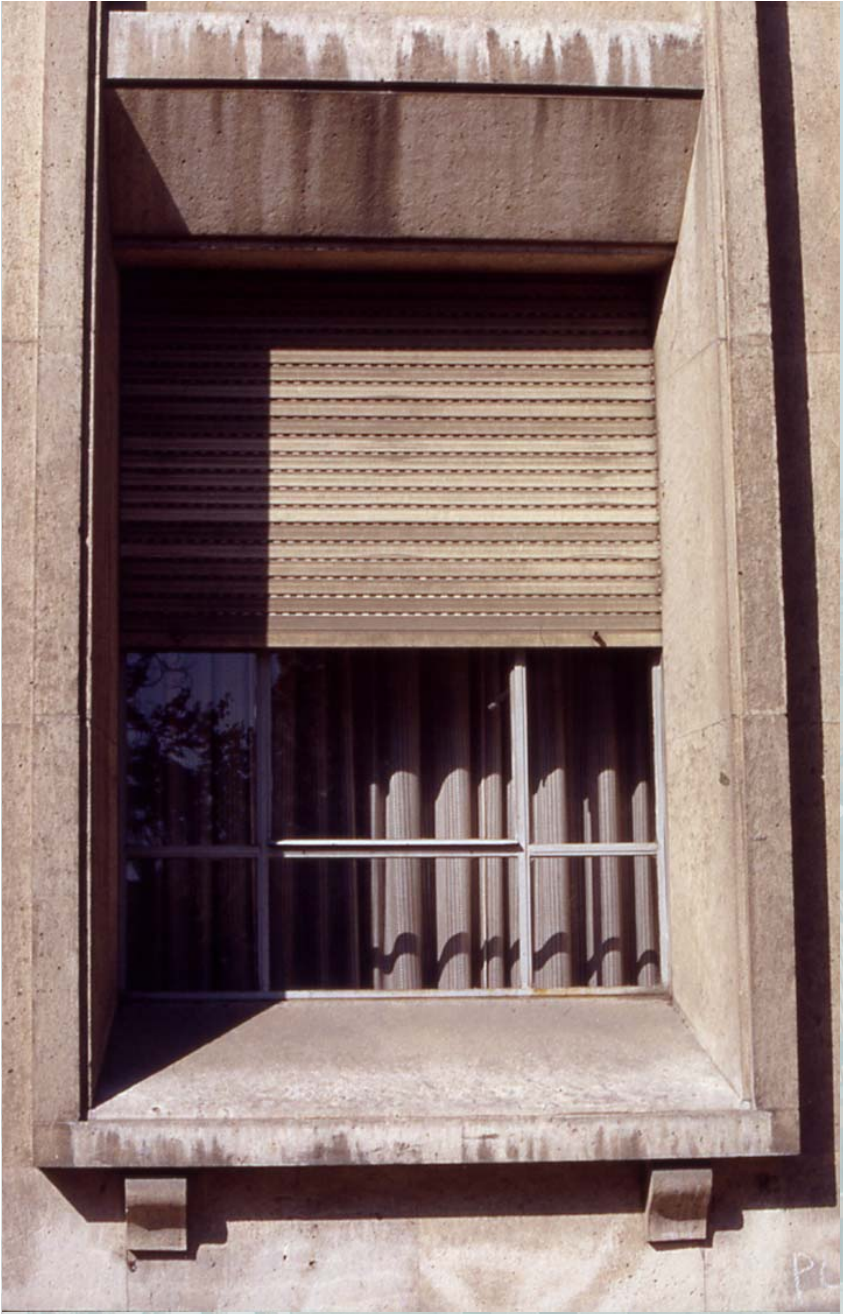
Ensuciamiento por contaminación atmosférica

DESARROLLO DEL ENSUCIAMIENTO

c) Organización general de la fachada:

- *forma*: perfil viento/lluvia que bate la fachada
- *composición*: organización de paños y huecos
- *textura general*: estriados, ornamentos, juntas









Ensuciamiento biológico

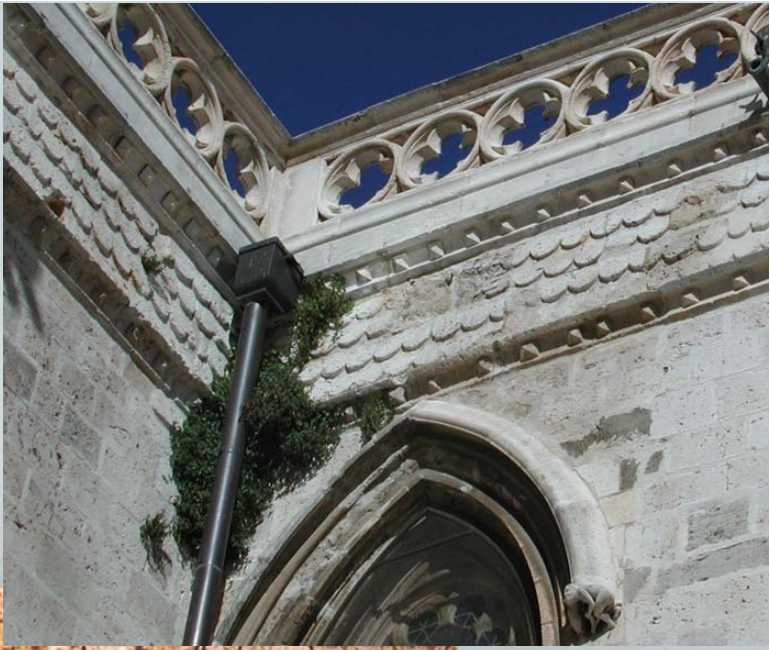
- CAUSAS:

- bacterias: del suelo y las aguas negras
- algas: (microscópicas) como cistos o esporas
- hongos: presentes en el suelo y el polvo
- líquenes: simbiosis algas+hongos en bases sucias
- plantas: musgo, verdín, helechos, en pátinas sucias

- MECANISMOS: adhesión biológica

- *requiere:*
 - pH, t^a e iluminación adecuados
 - porosidad abierta y humedad en soporte
- *tipos:*
 - enlaces de naturaleza electrostática
 - vainas musgosas higroscópicas
 - tensión superficial en el soporte





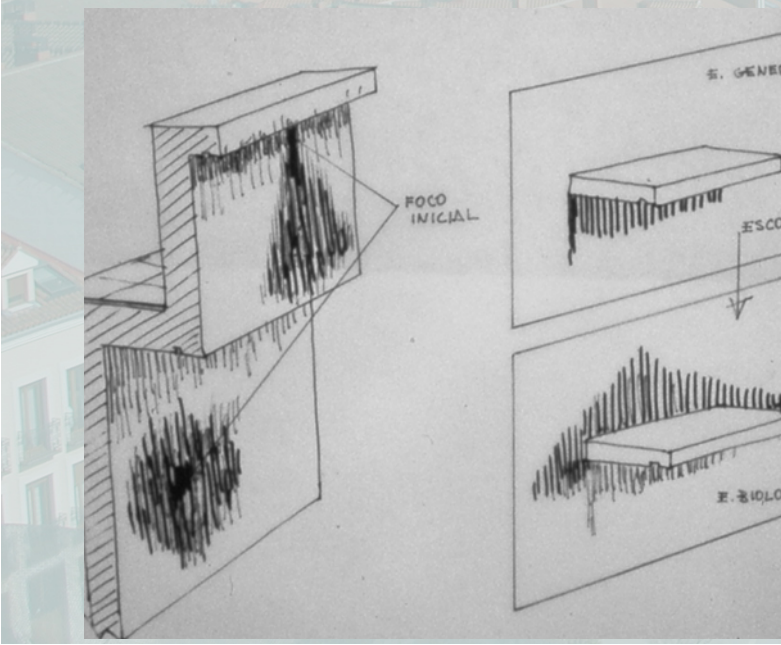
Ensuciamiento biológico

- EFECTOS:

- asimilación del carbonato cálcico, roturas intersticiales
- manchas: desarrollo concéntrico de hongos desde un punto
- líquenes: reguero cónico descendente de vector agua
- distinta ubicación que las de contaminación

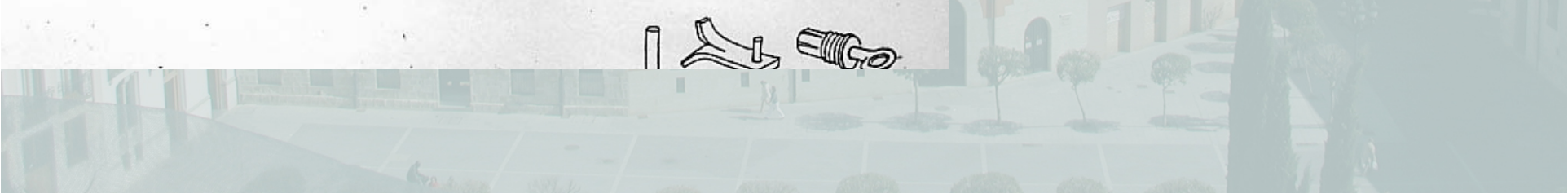
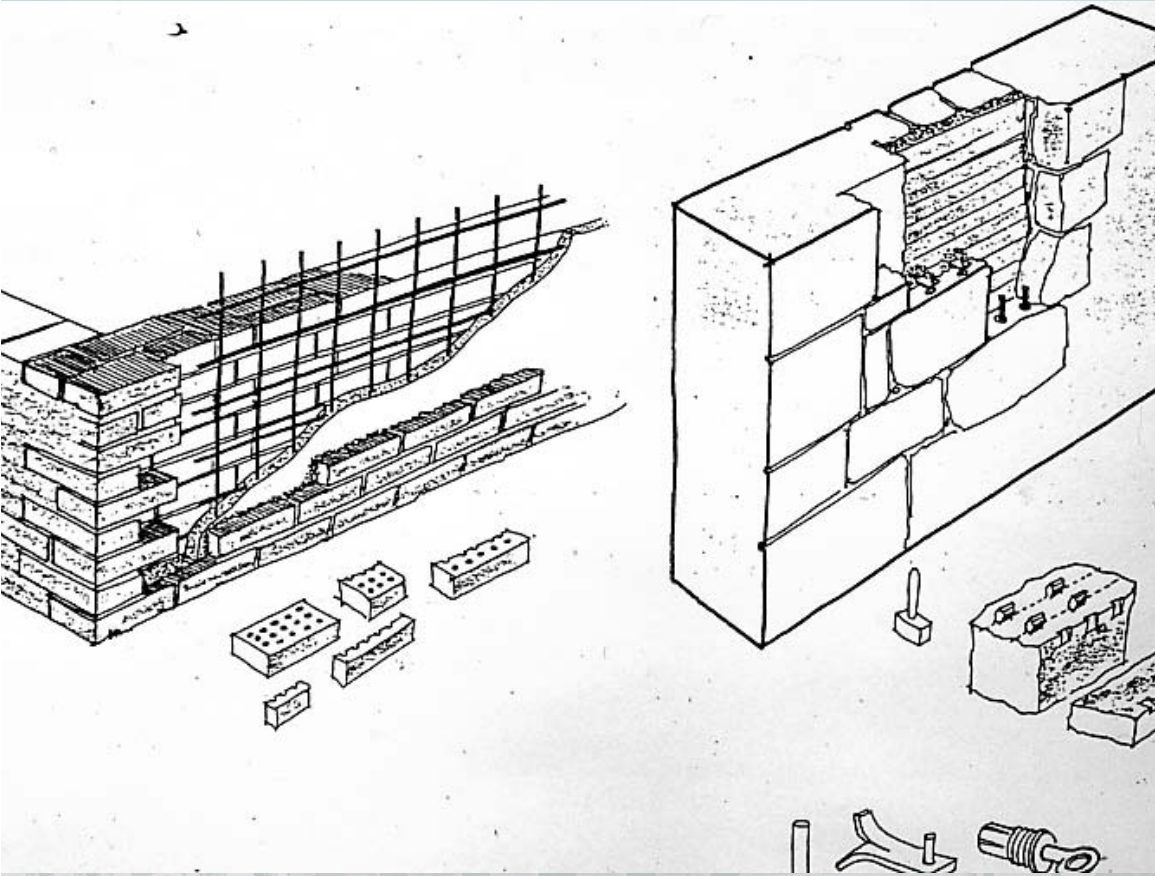
- ACTUACIÓN:

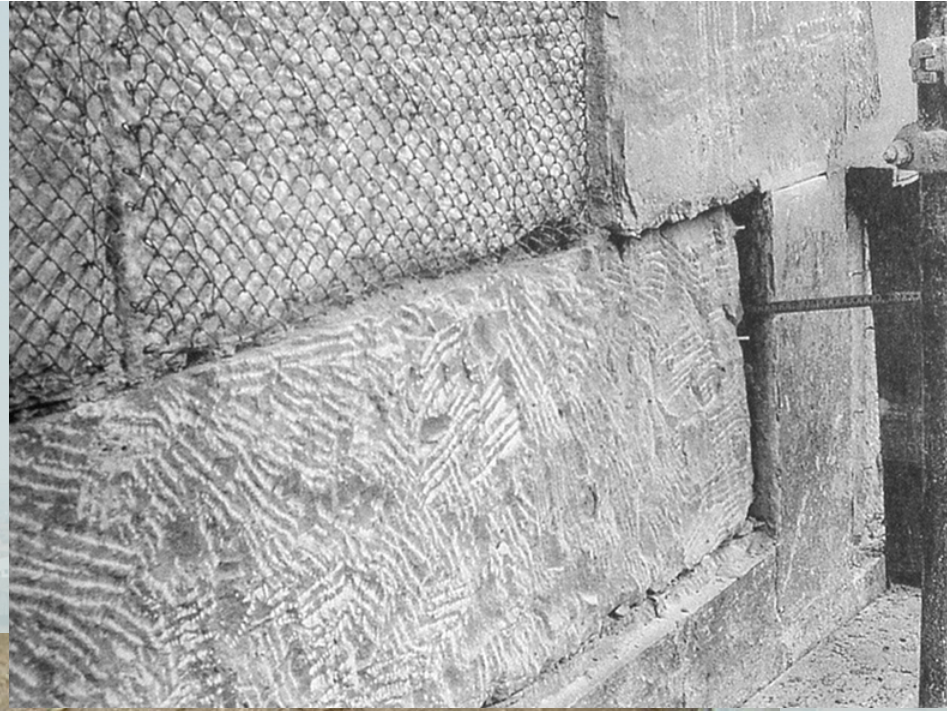
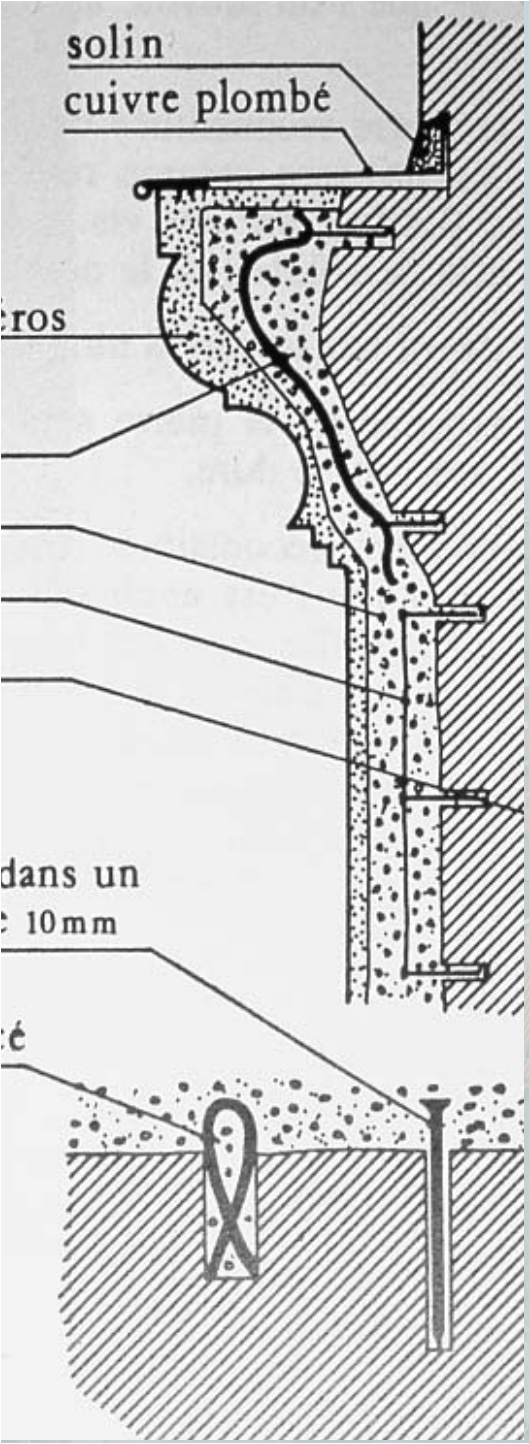
- limpieza; tratamiento biocida; hidrofugación



An aerial photograph of a city, likely in Spain, showing a dense urban landscape with numerous buildings featuring red-tiled roofs. In the foreground, a large, open square or plaza is visible, with a few people walking. The background shows a hazy horizon with distant hills and a tall, thin tower. The overall scene is captured from a high angle, providing a comprehensive view of the city's architecture and layout.

Criterios y técnicas de intervención







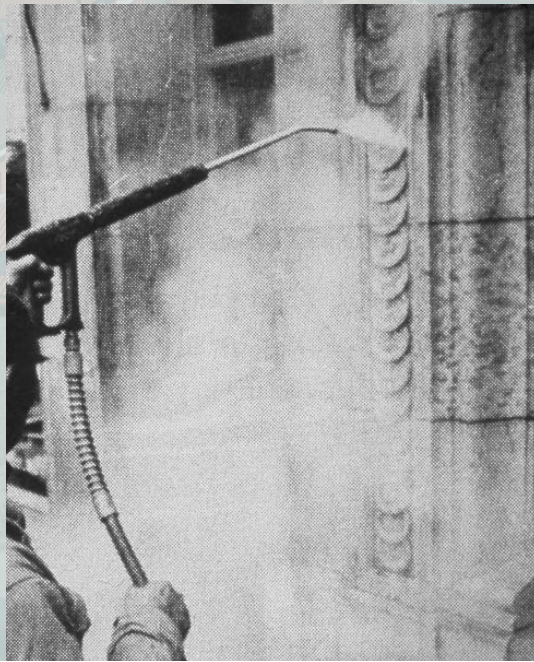
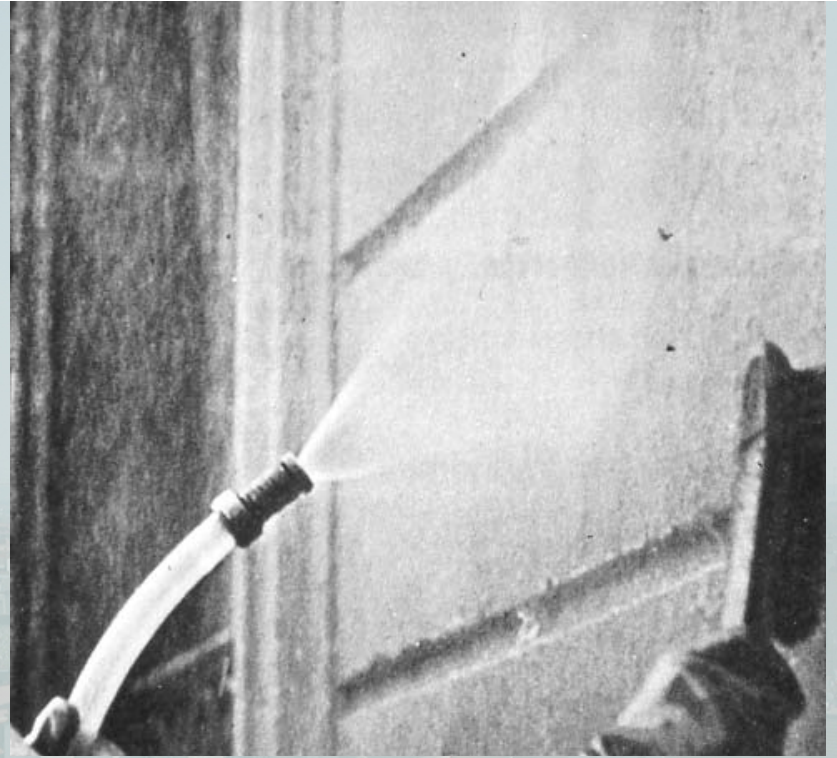




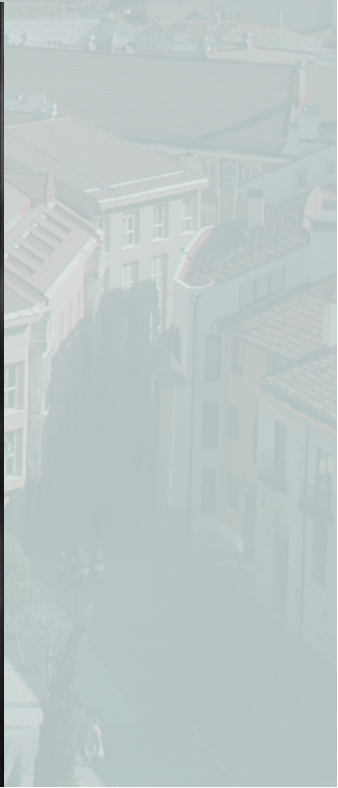


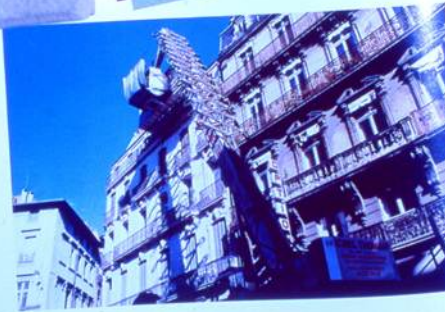
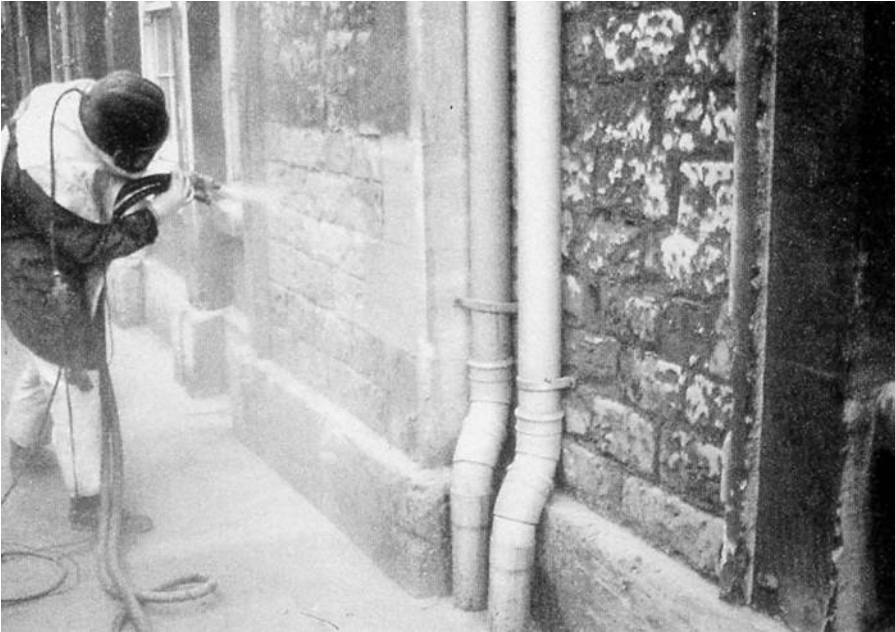
LIMPIEZA DE FACHADAS

- LAVADO: agua pulverizada, nebulizada, a presión, caliente; vapor
- LIMPIEZA QUÍMICA: HF, HCl, acético; alcalinos; ácidos + álcalis
- EMPLASTOS, PASTAS ABSORBENTES Y GELES
- LIMPIEZA CON JABONES
- ABRASIVOS: abrasivos en seco o con agua; agua a gran presión
- LIMPIEZA MECÁNICA
- LIMPIEZA CON LÁSER
- MÉTODOS ESPECIALES: ultrasonidos, lanza de calor, bacterias



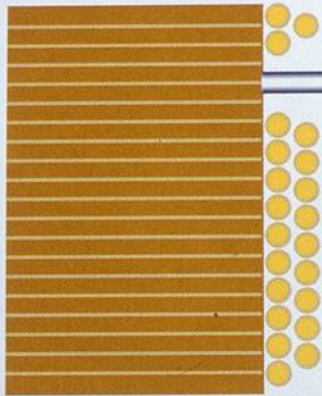








SUBSTRATO COSTRA



Láser de Nd:YAG

$t_1 = 10 \text{ ns}$



$t_2 = 50 \text{ ms}$

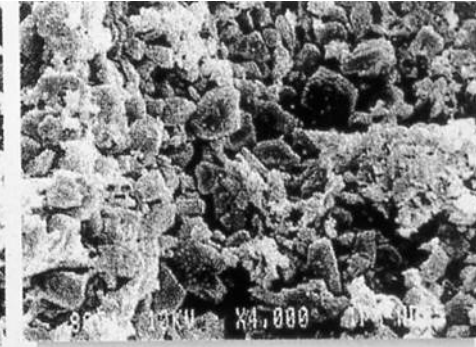
Energía = 400 mJ / Pulso

$t_2 = 5 \cdot 10^6 t_1$

ABSORCIÓN 30% 90%



Microfotografía SEM (X 4.000) de muestra con costra negra (antes del tratamiento).



Microfotografía SEM (X 4.000) de muestra tratada con láser.

tipo de láser:

longitud de onda:

duración del pulso:

energía máxima:

frecuencia máxima de repetición:

divergencia del haz:

refrigeración:

Nd:YAG

1.064 nm

5-7 ns

400 mJ/pulso

20Hz

0,6 mrad

circuito cerrado

agua desionizada

