

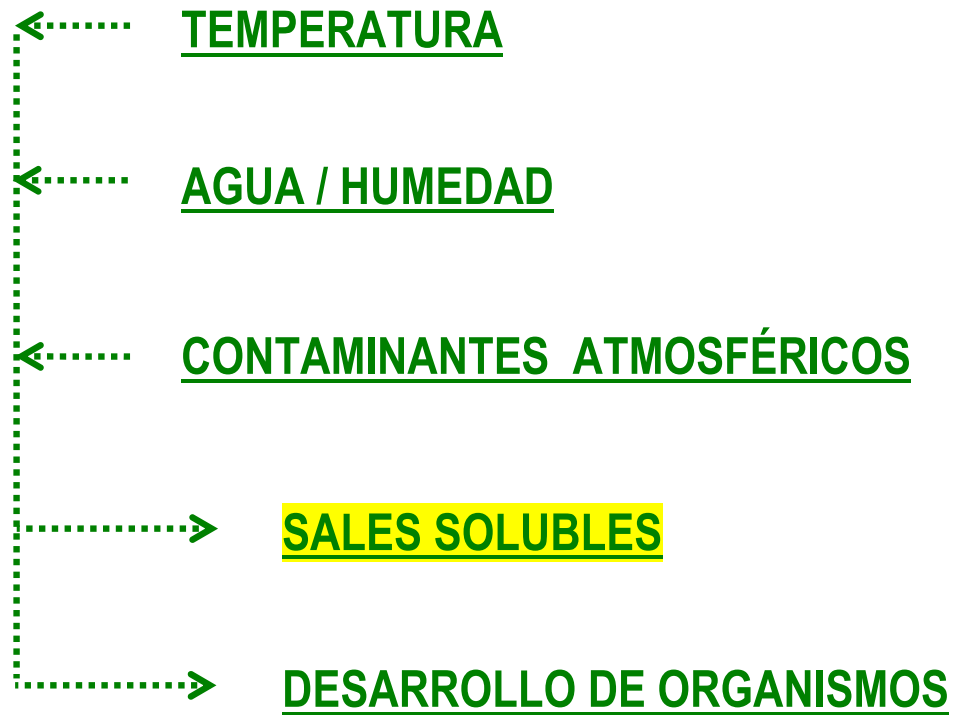
ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

Tema 4. AGENTES EXTERNOS

4.3. Sales solubles



FACTORES EXTERNOS



SALES SOLUBLES

- **Las sales solubles en la alteración de los materiales**
- **Principales tipos de sales solubles**
- **Fuentes de sales solubles en los materiales**
- **Evolución de las sales solubles**
- **Acción de las sales: procesos de deterioro**
- **Efectos de las sales: daños en los materiales**
- **Procedimientos de estudio**

SALES SOLUBLES

➤ Las sales solubles en la alteración de los materiales

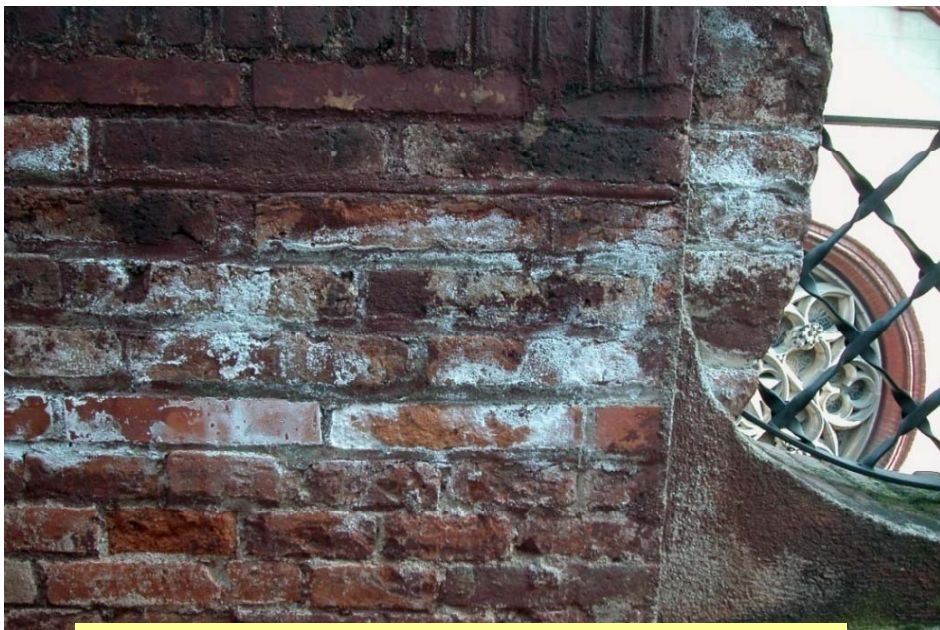
▪ **Agente importante en el deterioro** (frecuencia, agresividad)

- en los edificios se observa acusada relación entre presencia de sales y el deterioro de los materiales (rocas, ladrillos, morteros...)
- siempre están presentes en el agua en contacto con los materiales: soluciones acuosas diluidas que circulan por el sistema poroso
- los daños generados dependen de:
 - a) composición de la sal,
 - b) condiciones ambientales (T, Hr),
 - c) tipo de roca (sistema poroso).

▪ **Frecuentes y fácil de observar en la superficie:**

- formación en el exterior : ⇒ **daños pequeños**
→ desarrollo de eflorescencias...
- formación en el interior ⇒ **daño elevados**
→ daños asociados: disgregaciones...

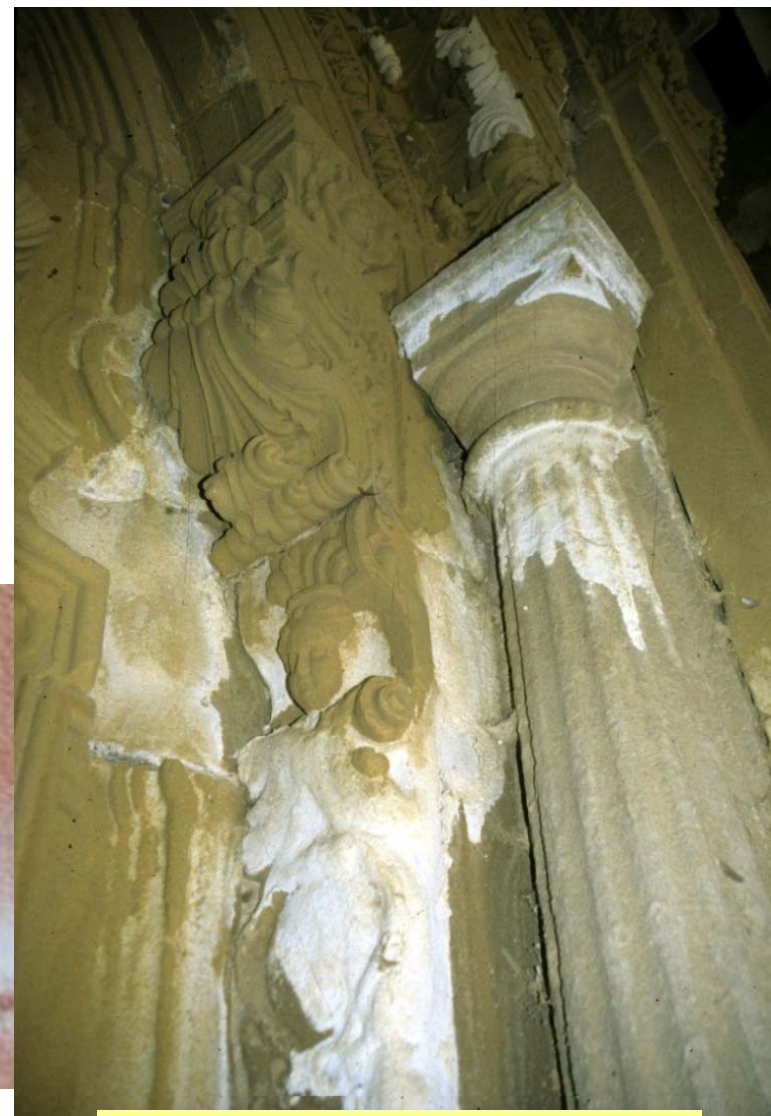
SALES SOLUBLES



Terraza del Palau de la Música Catalana(Barcelona)



Edificación actual



Palacio de Jabalquinto, Baeza (Jaén)

SALES SOLUBLES

➤ Principales tipos de sales solubles

Componentes químicos de sales solubles

Aniones:

sulfatos (SO_4^{2-})

cloruros (Cl^-)

nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-)

[carbonatos (CO_3^{2-})]

[oxalatos ($\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$)]

[fosfatos (PO_4^{3-})]

Cationes:

sodio (Na^+)

potasio (K^+)

calcio (Ca^{2+})

magnesio (Mg^{2+})

amonio (NH_4^+)

► Grossi C.M. y Esbert R.M. (1994). *Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Revisión bibliográfica.* Materiales de Construcción 44 (235), 15-30.



SALES SOLUBLES

➤ Principales tipos de sales solubles

SULFATOS

→ Contaminación (ambiente industrial), suelo, morteros...

Thenardita	Na_2SO_4
Mirabilita	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$
Arcanita	KSO_4
Kiesetita	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Hexahidrita	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Epsomita	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Dodecahidrita	$\text{MgSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Bloedita	$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Syngenita	$\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
[Yeso]	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{costras}$
[Bassanita]	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$
[Anhidrita]	CaSO_4

SULFATOS

→ Alteración de morteros de cemento por soluciones sulfatadas

Ettringita	$\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 (\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$
Thaumasita	$\text{Ca}_3\text{Si}(\text{CO}_3)(\text{SO}_4)(\text{OH})_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$



SALES SOLUBLES

➤ Principales tipos de sales solubles

CLORUROS

→ Contaminación (ambiente marino), morteros...

Halita

NaCl

Silvina

KCl

Bischofita

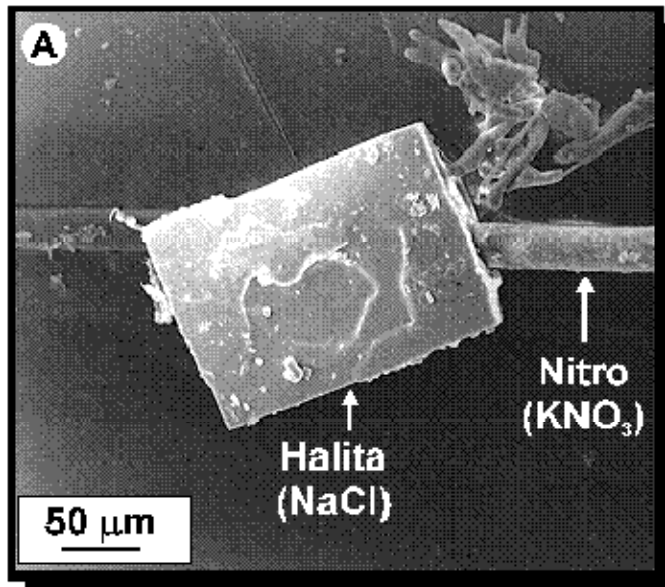
MgCl₂ · 6H₂O

Antarcticita

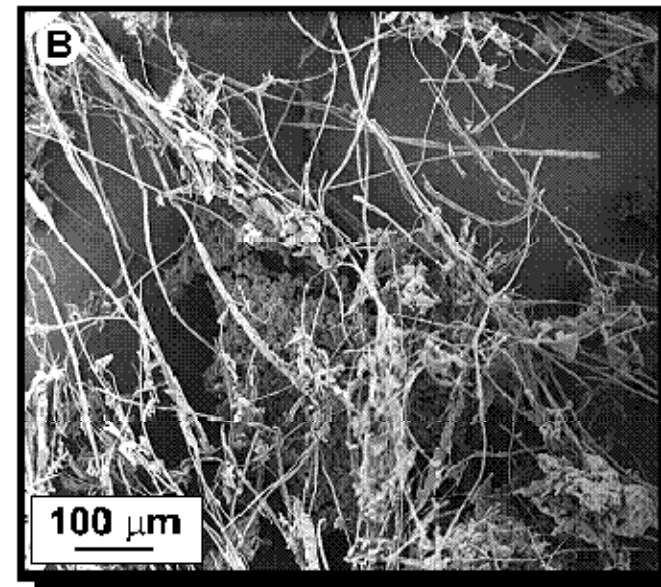
CaCl₂ · 6H₂O

Tachyhidrita

CaMgCl₆ · 12H₂O



Halita, recreciendo sobre whisker de nitro



Halita, en eflorescencias tipo pelusa

SALES SOLUBLES

➤ Principales tipos de sales solubles

NITRATOS

→ Contaminación (materia orgánica)

Nitratina	NaNO_3
Nitro (salitre)	KNO_3
Nitranmita	NH_4NO_3
Nitrocalcita	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Nitromagnesita	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

CARBONATOS

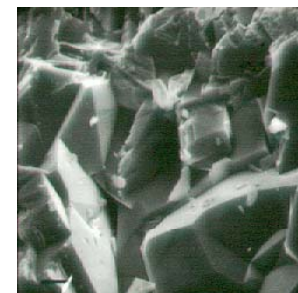
→ Sustrato, morteros

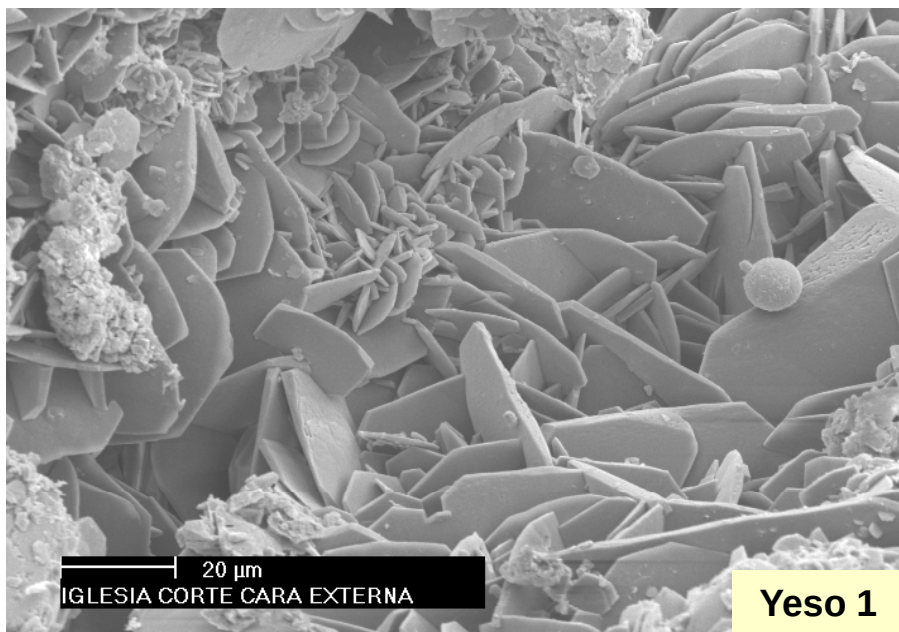
Termonatrita	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Natron	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$
Trona	$\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
[Calcita]	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{incrustaciones}$
[Dolomita]	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

OXALATOS

→ Alteración de compuestos orgánicos

[Whewellita]	$\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$	→
[Weddellita]	$\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	

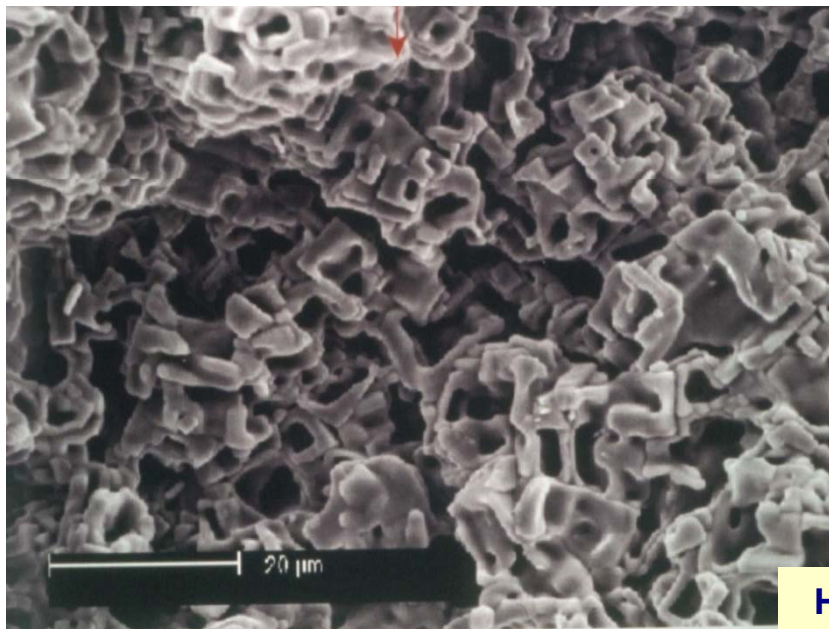




Yeso 1



Yeso 2



Halita

Yeso 1: precipitado en una costra

Yeso 1: precipitado en cámara de ensayos

Halita: precipitada en cámara de ensayos

SALES SOLUBLES

➤ Fuentes de sales solubles en los materiales

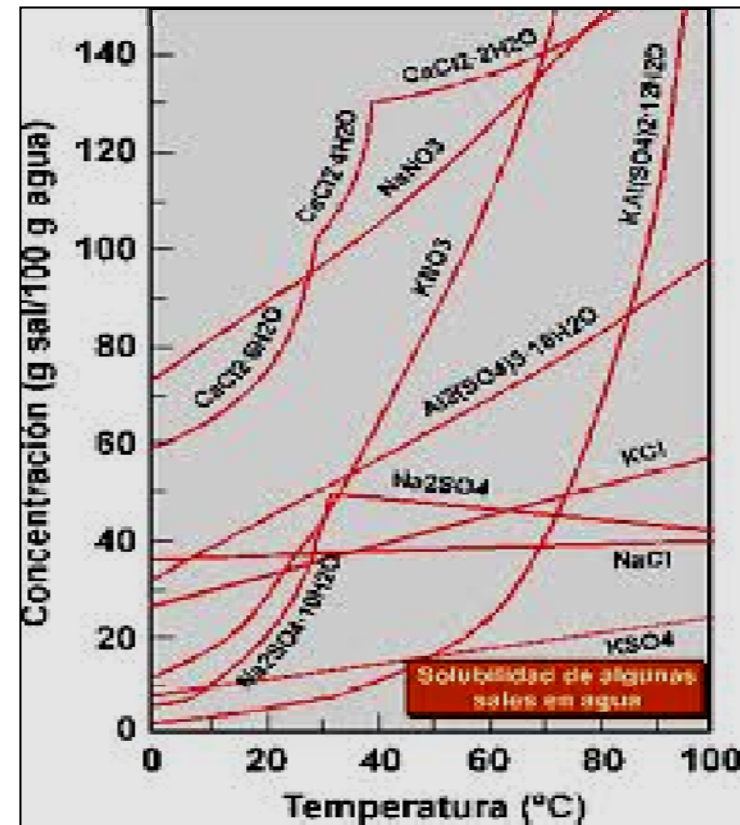
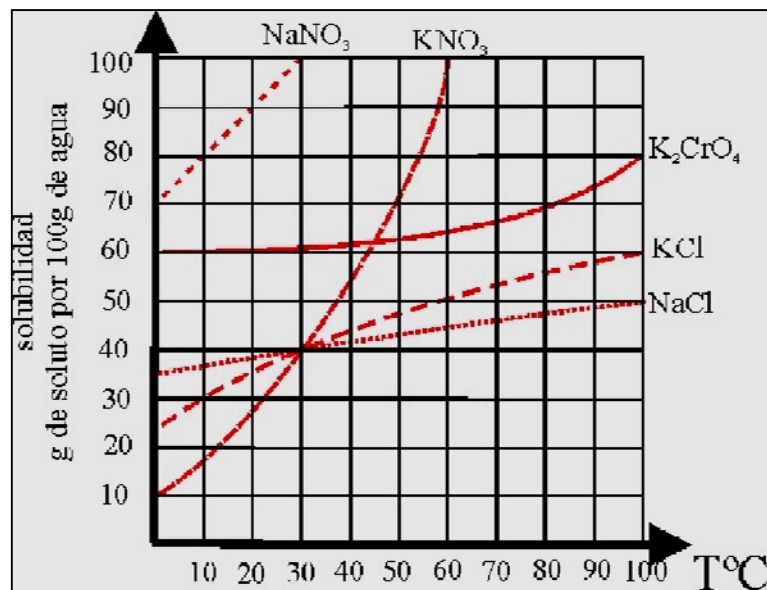
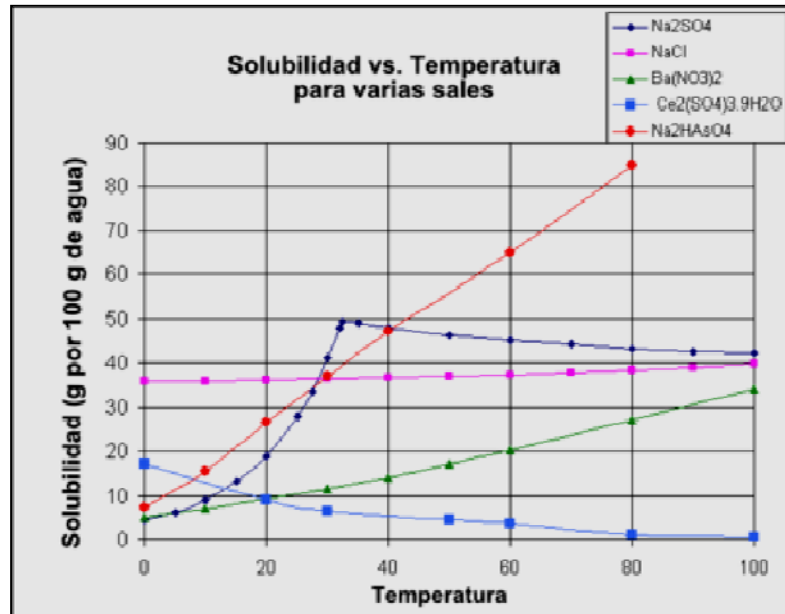
- **Los propios materiales: sus productos de alteración**
 - los carbonatos se disuelven: Ca, Mg; los silicatos se alteran: Na, K, Mg
 - los sulfatos (yeso) se disuelven, los sulfuros (pirita) se alteran: S
- **Los morteros u otros materiales de construcción**
 - la cal y el cemento tienen entre sus componentes sales solubles: Na, K
- **El suelo: aguas freáticas**
 - terreno con yeso: S; asentamiento humano: N; influencia marina: Cl
- **La atmósfera: contaminación**
 - aerosoles marinos: Cl, Na, Mg; nieblas urbanas/industriales: S, N...
- **Los seres vivos**
 - procesos metabólicos, bacterias: sulfatos, nitratos, fosfatos. oxalatos
- **Actividades humanas**
 - productos de limpieza: ácidos, bases; productos de tratamiento: silicatos alcalinos
 - aportadas para evitar las heladas en ciudades, carreteras
 - procedentes del almacenamiento de ciertos productos en edificios antiguos

SALES SOLUBLES

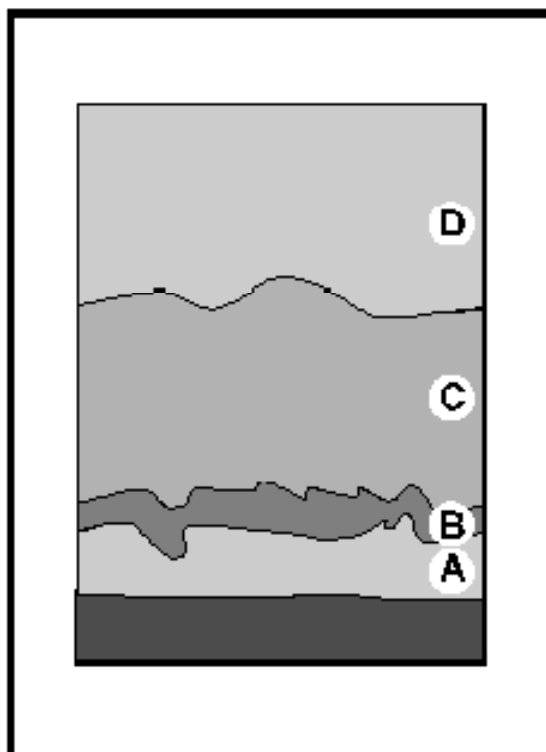
➤ Evolución de las sales solubles

- **Zonas con aportes de agua: aporte de sales solubles**
 - interacción del agua con los materiales → f(alteración mineral/disolución)
- **Difusión y transporte de las sales solubles**
 - circulación del agua → f(gradientes de concentración, de presión, sistema poroso)
- **Zonas de evaporación (Hr baja): precipitación de sales**
 - aporte de agua a la superficie > evaporación:
 - ⇒ **Precipitación exterior: Eflorescencias**
 - evaporación > aporte de agua a la superficie:
 - ⇒ **Precipitación interior: Subflorescencia**
- **El tipo sal** (sulfatos, nitratos...)
 - relación con la composición del agua
- **La fase cristalina** (anhidra, hidratada...)
 - depende del ambiente (variaciones en T, Hr ⇒ precipita, disuelve...)
- **En ambientes normales ⇒ cambios de fase**

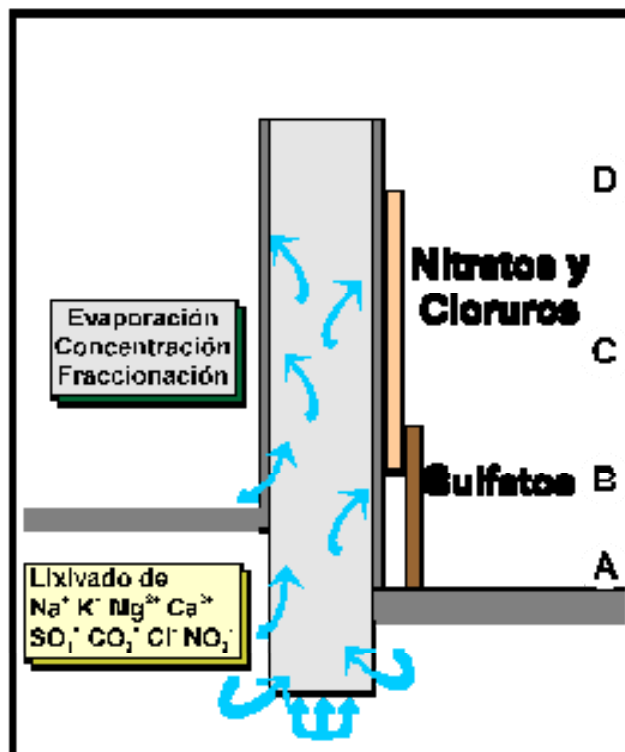
Solubilidad de sales solubles en función de la temperatura



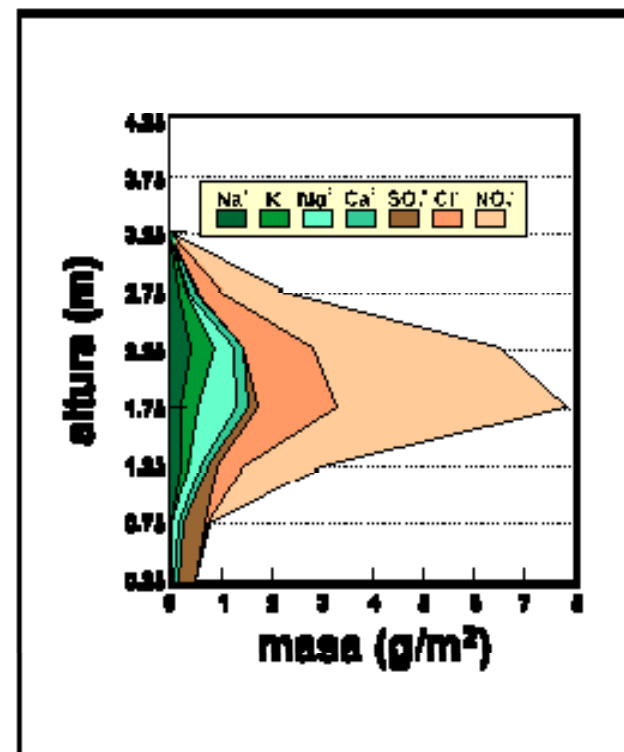
Distribución de sales solubles en los muros con la altura



Diferentes zonas observadas en áreas de ascenso capilar del agua



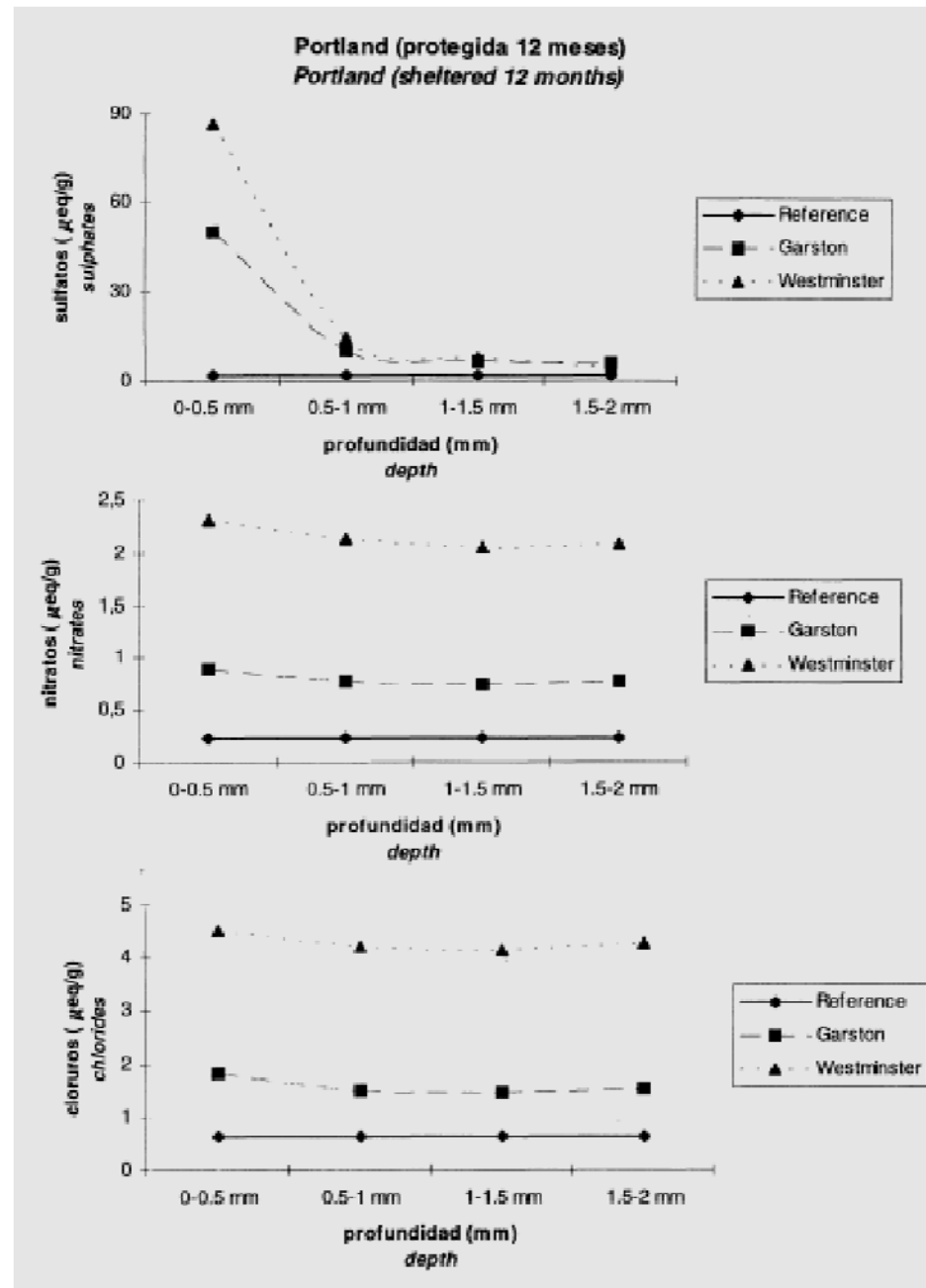
Modelo de evolución de sales (basado en la Iglesia carolingia del Convento de Münstair, Suiza)



Distribución de iones a lo largo de la zona de ascenso capilar Iglesia, Convento de Münstair, Suiza

<http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/Tema10.htm>

Distribución de sales solubles en los muros con la profundidad



Distribución de sulfatos, nitratos y cloruros en el interior de la caliza de Portland (un año de exposición in situ).

► Grossi C.M., Esbert R.M. y Díaz-Pache F. (1998). *Degradación y durabilidad de materiales rocosos de edificación en ambientes urbanos*. Materiales de construcción 48 (252), 5-25.

SALES SOLUBLES

➤ Acción de las sales solubles: procesos de deterioro

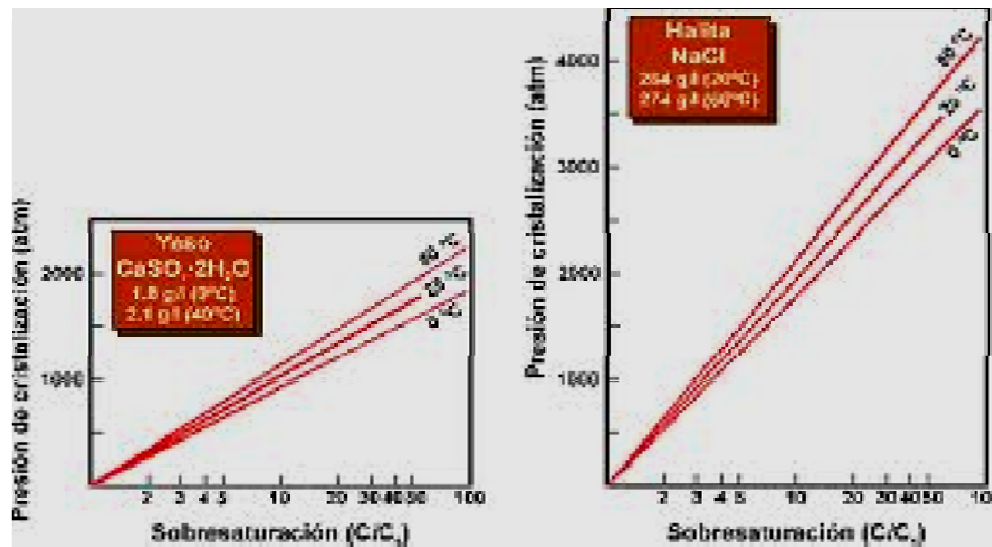
- **Presión de cristalización**
 - crecimiento de los cristales, presión en los poros
- **Presión de hidratación**
 - cambios de fases anhidras a hidratadas, presión en los poros
- **Otros cambios de fase (parciales, estructurales)**
 - cambios en la estructura cristalina de la sal
- **Expansión térmica diferencial**
 - cambios de volumen con la temperatura

⇒ **DETERIORO IMPORTANTE**

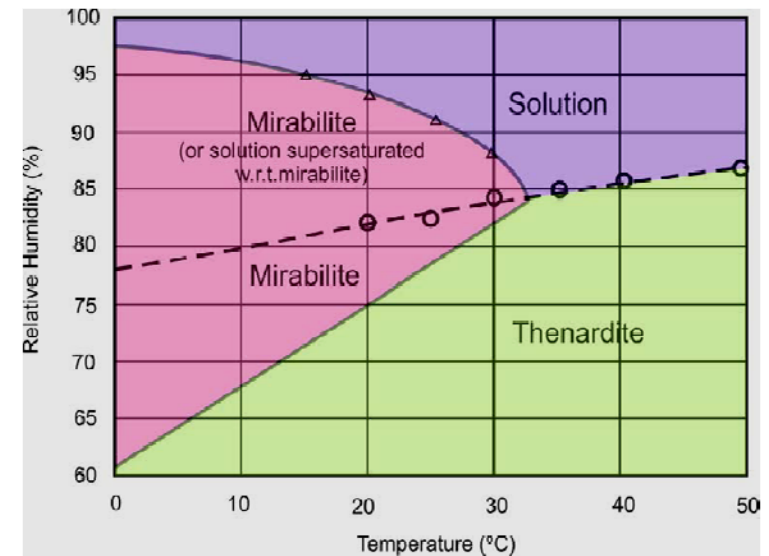
f (tipo de sal; tipo de ambiente: T, Hr; tipo de material: n_o , Rc)

⇒ **DETERIORO MECÁNICO > QUÍMICO**

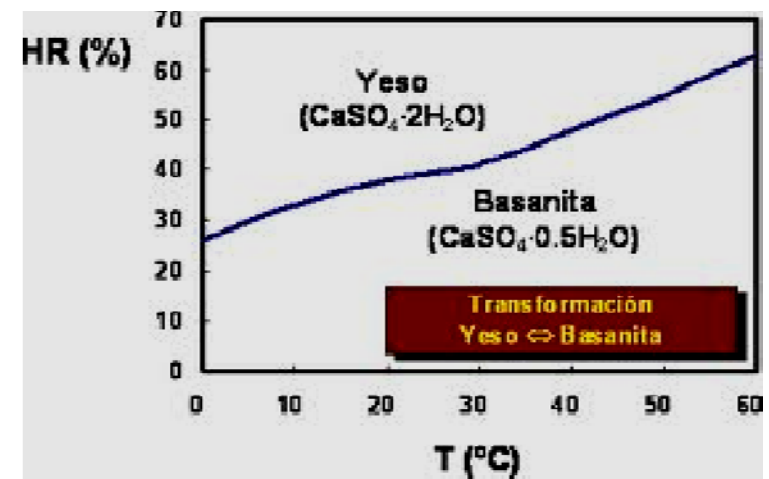
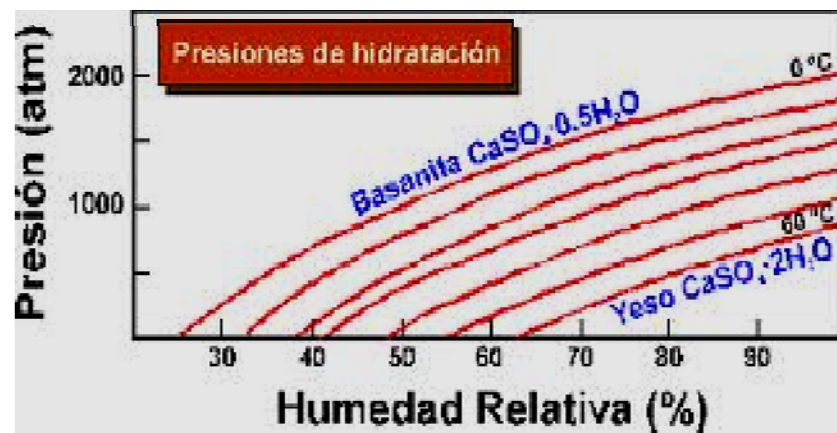
Presión de cristalización



Cambios de fase



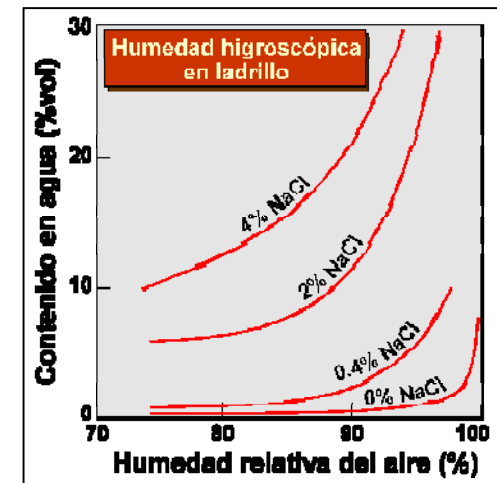
Presión de hidratación



SALES SOLUBLES

➤ Efectos de las sales: daños en los materiales

- Eflorescencias, subeflorescencias
- (Costras: sulfín, calcín), ampollas
- Disgregación: arenización, pulverización
- Alveolización
- Descamación
- Fisuración
- Alteraciones cromáticas
- Humedad: Capacidad higroscópica



SALES SOLUBLES

➤ Procedimientos de estudio

- **Análisis químico** → material disuelto
 - conductividad eléctrica, cuantificación de aniones (Cl)
- **Análisis mineral** → material sólido
 - difracción de rayos X (DRX)
- **Análisis morfoquímico** → material sólido ± coherente
 - morfología y composición (SEM + EDX)

UNE-EN 16455:2013. *Conservación del patrimonio cultural. Determinación de sales solubles en la piedra natural y en materiales artificiales afines, usados en el patrimonio cultural, 8 p..*