

Presentaciones adaptadas al texto del libro:
“Temas de química (II) para alumnos de ITOP e ICCP”

Tema 19.- Durabilidad del Hormigón en Climas Fríos



ROCÍO LAPUENTE ARAGÓ
Departamento de Ingeniería de la Construcción



UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Fenómenos que deterioran al hormigón ambientes fríos

- Los ciclos hielo–deshielo del hormigón, o más concretamente, de la disolución capilar de este.

- El uso de sales fundentes. se utilizan para fundir el hielo que se forma sobre el hormigón y permitir su uso

condiciones de humedad y cambios de temperatura que producen su fisuración.

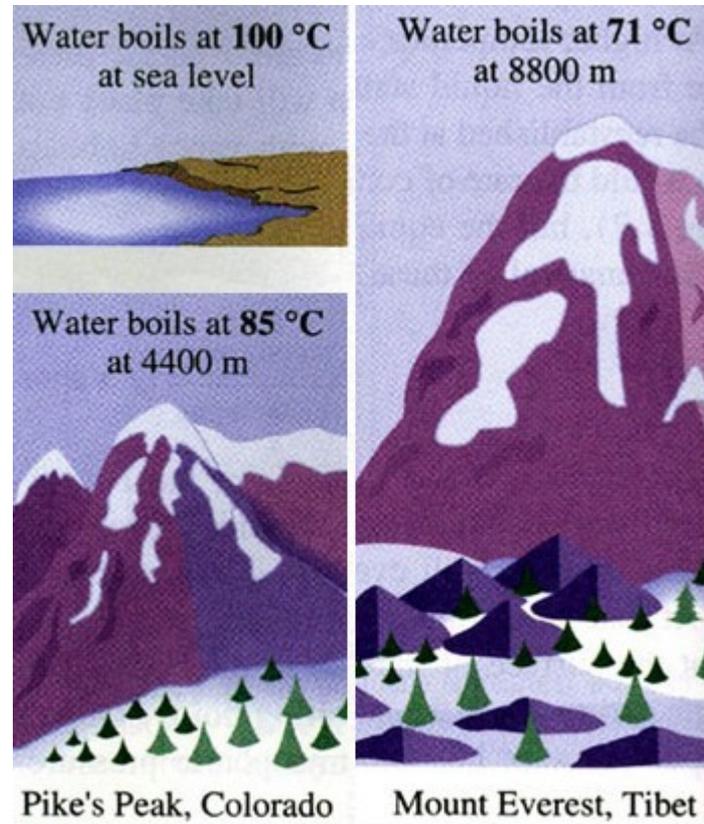
son perjudiciales para el hormigón y para sus armaduras.



Para comprender adecuadamente los efectos que tienen los ciclos hielo–deshielo es necesario primero estudiar como se comporta el hormigón durante la congelación de su red capilar.

<http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/propOfSoln/colligative.html>





<http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/propOfSoln/colligative.html>



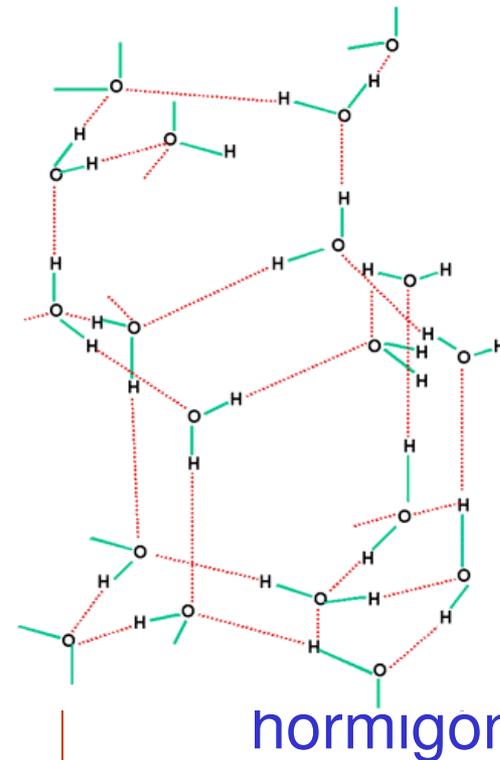
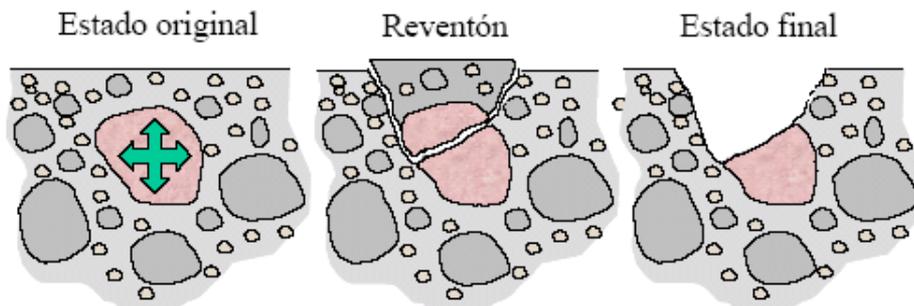
2. Congelación del hormigón.

el agua líquida aumenta su volumen en un 9% al congelarse, transformándose en hielo.

la red capilar del hormigón contiene agua

↓ T°

se producirá la congelación de la disolución interna del hormigón

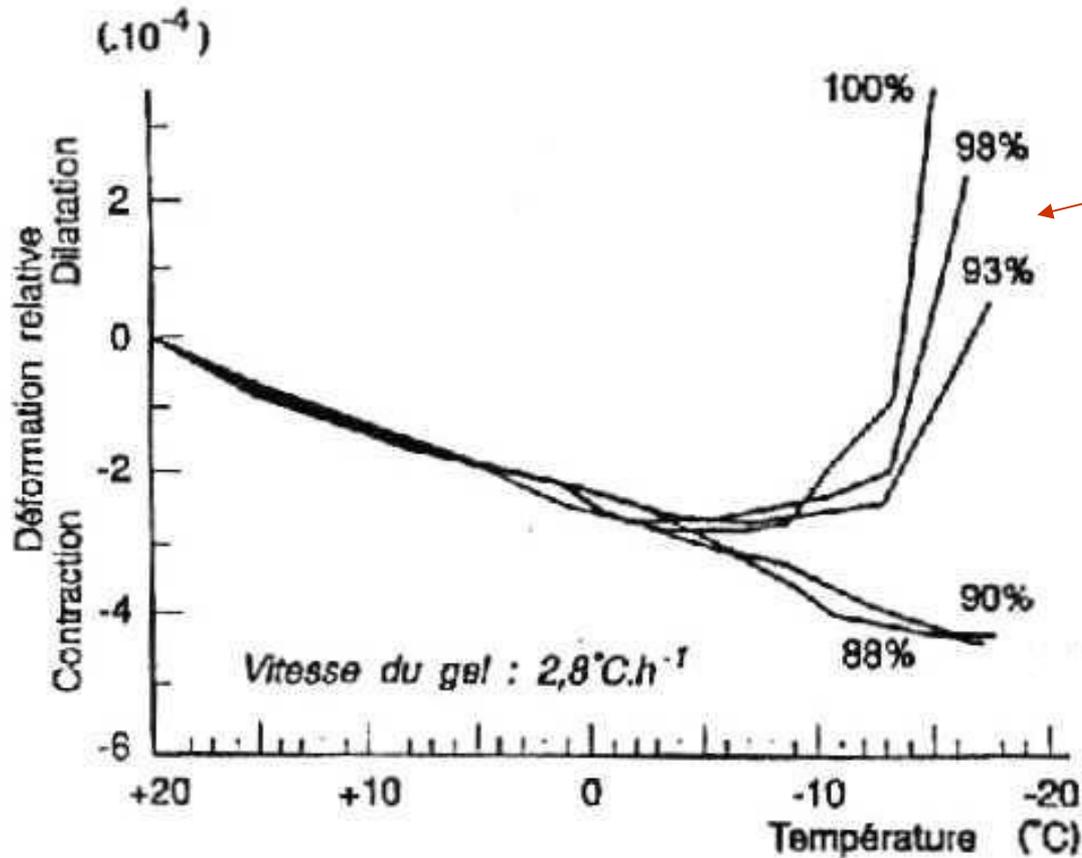


lumen
la red

nes
re las
as

ra el
hormigón.

deformación relativa que sufre un mortero de cemento al someterlo a enfriamiento



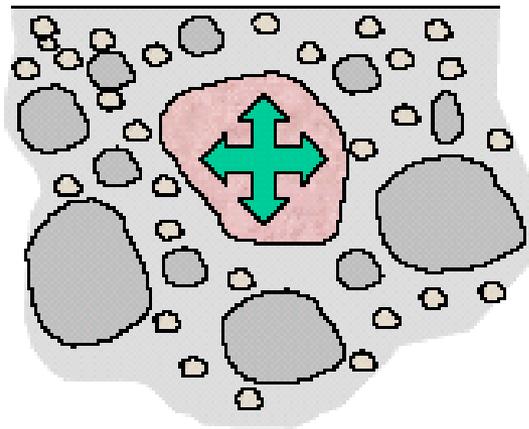
diferentes porcentajes de saturación de agua de la red capilar.

Se observan dos comportamientos diferentes dependiendo del grado de saturación.

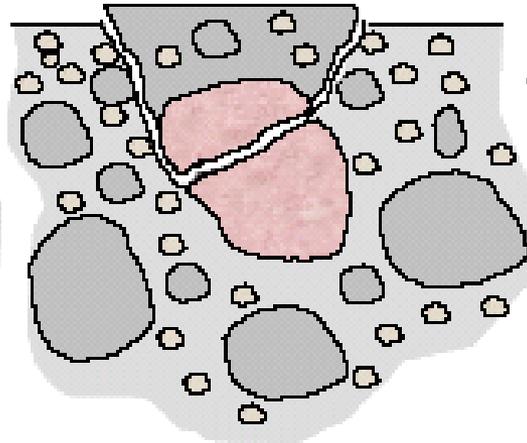
Influencia del grado de saturación de un mortero ($a/c = 0.6$) en su comportamiento dimensional durante la congelación.



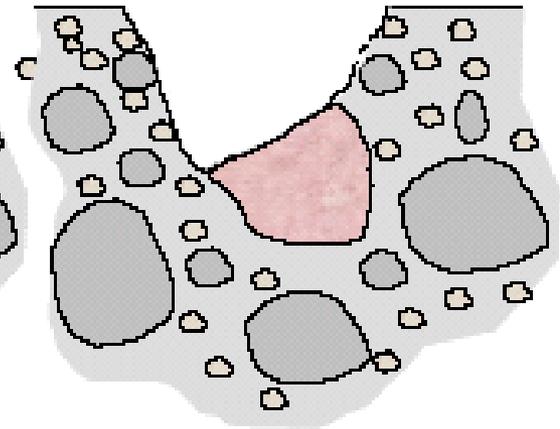
Estado original



Reventón



Estado final



Reventón del hormigón debido a congelamiento del agregado.



Efecto de la congelación en hormigones con grados de saturación superiores al 90%.

Partimos de 20°C

-5° C

-15° C

contracción térmica

La densidad de los sólidos aumenta al disminuir la temperatura.

deja de contraerse
y empieza a aumentar de volumen

fuerte dilatación



Grados de saturación inferiores o iguales al 90%

no se produce la expansión del mortero

congelación de la fase líquida del mortero,
sin embargo,
la muestra no se dilata

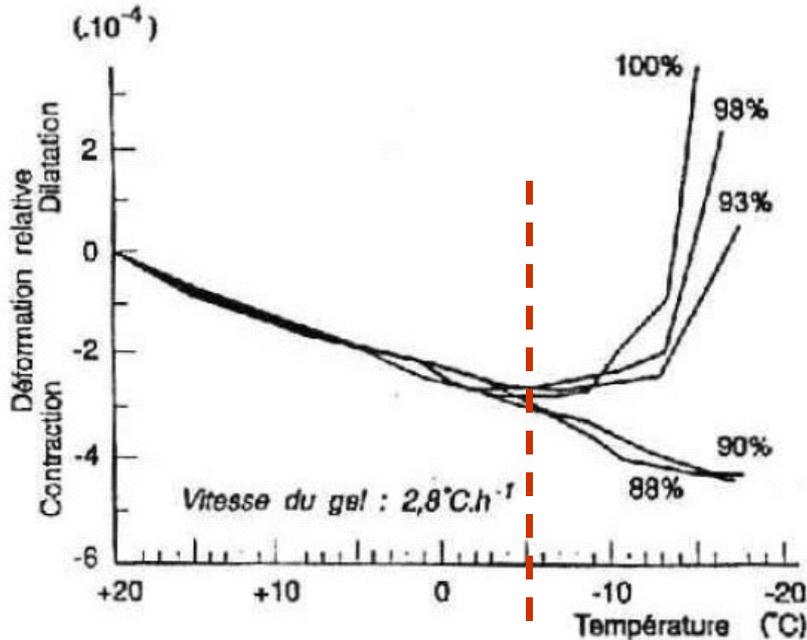
aire dentro de la red capilar
(al menos un 10% de su volumen)



¿ A que temperatura se produce la congelación de la disolución de la red capilar?

La temperatura de congelación del agua pura es de 0°C

El hormigón siempre se congela a temperaturas inferiores a 0°C



incluso para un 100% de saturación, la dilatación se produce por debajo de -5°C



La temperatura de congelación de la red capilar depende de dos factores:

✿ La concentración de sales de la disolución

más concentrada la disolución
más baja será temperatura de congelación

✿ El radio de los poros de la red capilar

el agua de los poros de menor diámetro se
congela a temperaturas inferiores

debido a la interacción de las moléculas de agua
con las fases sólidas del cemento

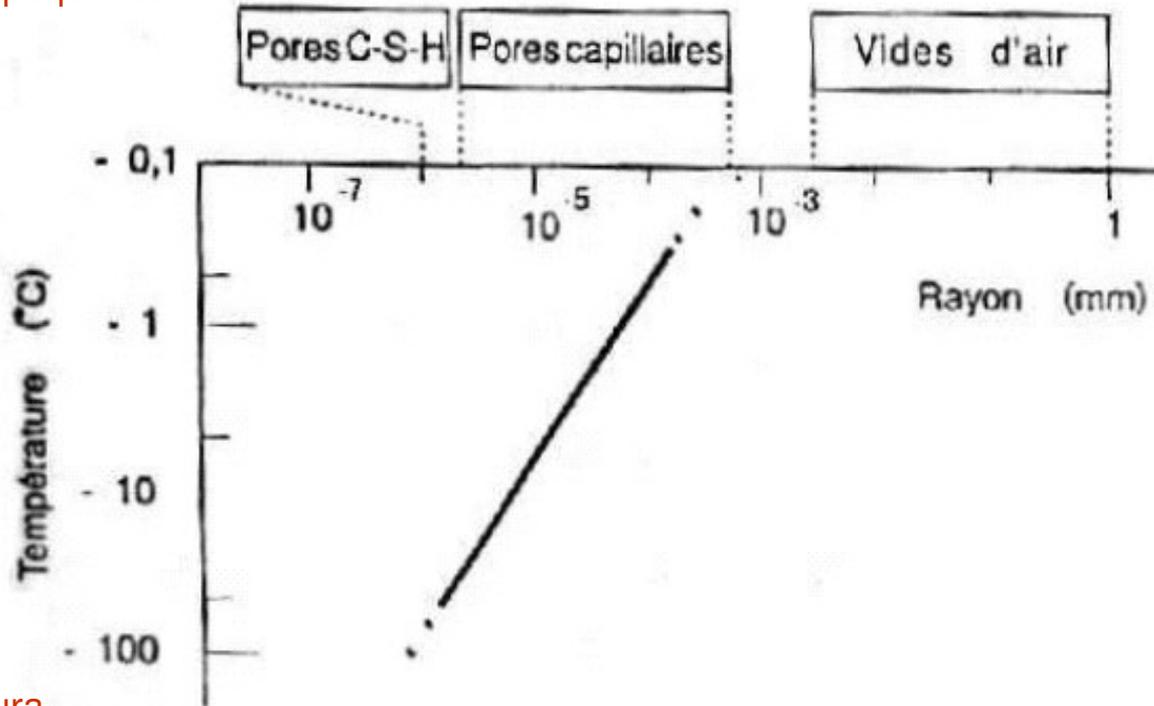


Cuanto menor sea el diámetro del poro

“más unida” está la molécula a la fase sólida
y resultará “más difícil congelarla”

se requieren temperaturas más bajas

+ pequeños



- temperatura



huecos de aire
atrapados al amasar



tamaño típico de entre
 $1 \mu m$ y $1 mm$
el efecto congelación es
despreciable

los poros capilares



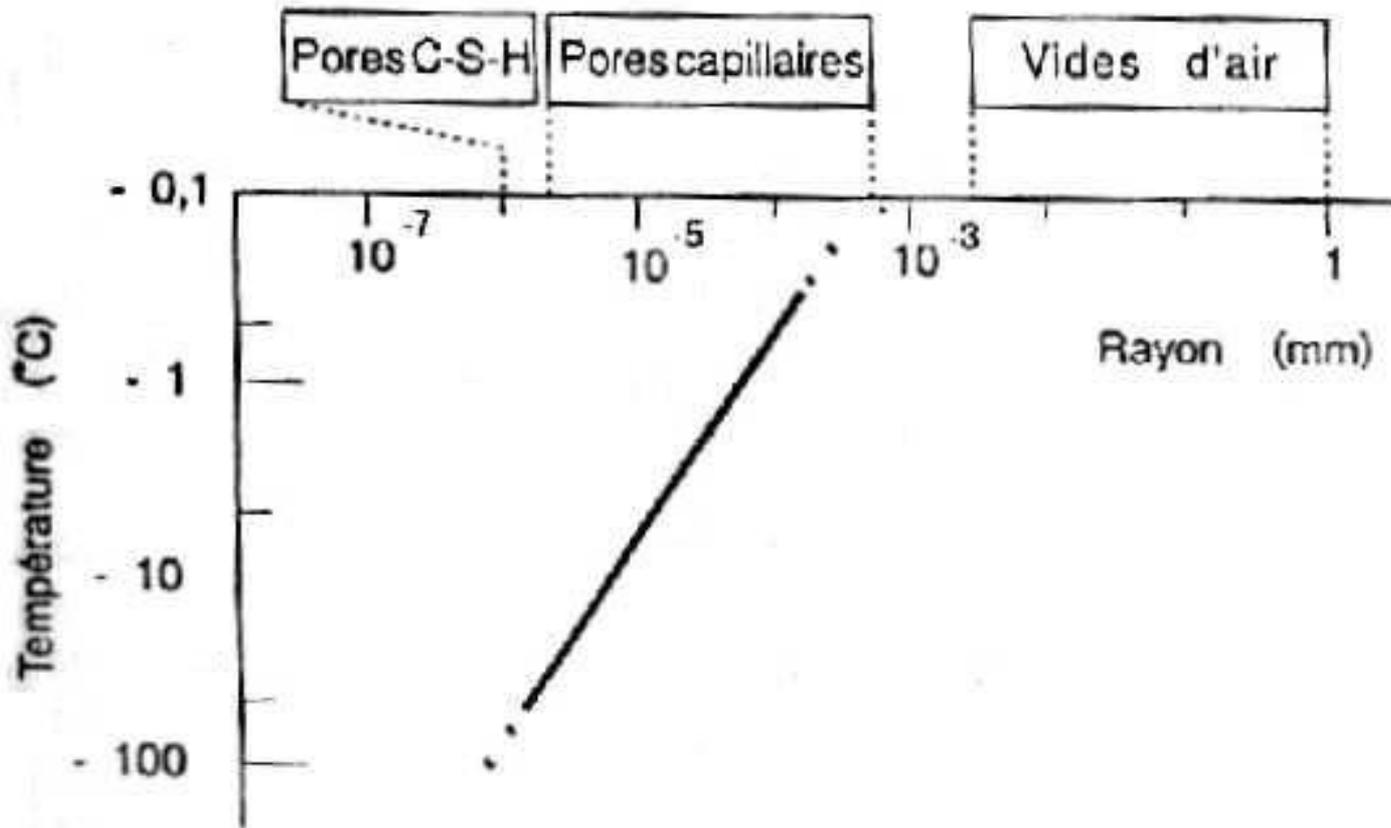
decenas de nanómetros
la temperatura de congelación
puede disminuir por debajo de
los $-20^{\circ}C$.

los poros del gel CSH



de tan sólo algunos nanómetros
la temperatura de congelación
puede llegar a casi $-100^{\circ}C$.





Descenso de la temperatura de fusión del hielo con la disminución del radio de los poros. Curva calculada para el agua pura.



CONSECUENCIA

no toda el agua de un hormigón es congelable

Cuanto más baja sea la temperatura, mayor será la proporción de agua que está congelada, pero, dentro de un intervalo práctico de temperaturas, siempre existe parte del agua del hormigón que está en estado líquido.



Otra consecuencia importante

la fisuración causada por la congelación se da en los poros más finos

Cuando la temperatura disminuye

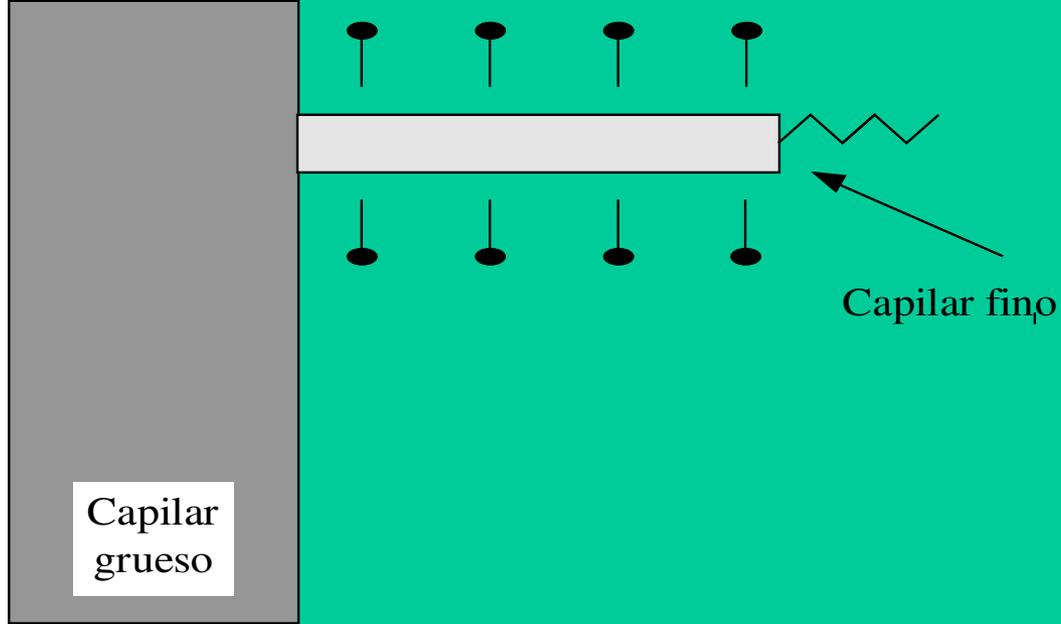
se congelan primero los poros de mayor diámetro

Posteriorment
e los más finos

El agua ya no tiene lugar hacia donde expandirse porque los poros de mayor tamaño ya están ocupados por hielo

Esto creará tensiones mecánicas en los poros de menor diámetro y su fisuración





Congelación de los capilares de menor diámetro produce tensión y fisuración



3. Incluidores de aire.

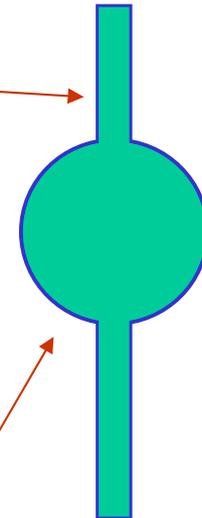
¿forma de reducir la fisuración de un hormigón en las heladas?

introducir en su red capilar burbujas de aire

interrumpen los capilares finos

las burbujas deben ser de pequeño tamaño

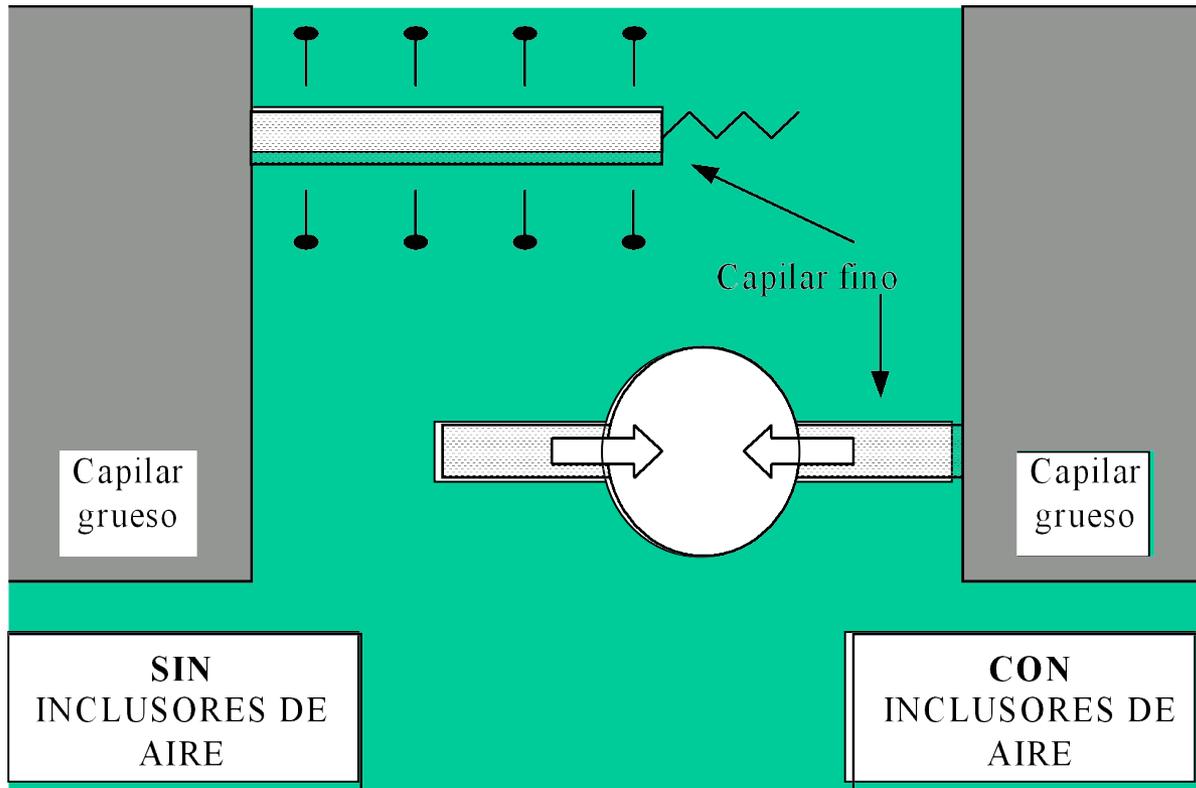
cuando se produce su congelación el hielo se puede expandir hacia estas cavidades



Primero congelación de los capilares de mayor diámetro

↓ T°

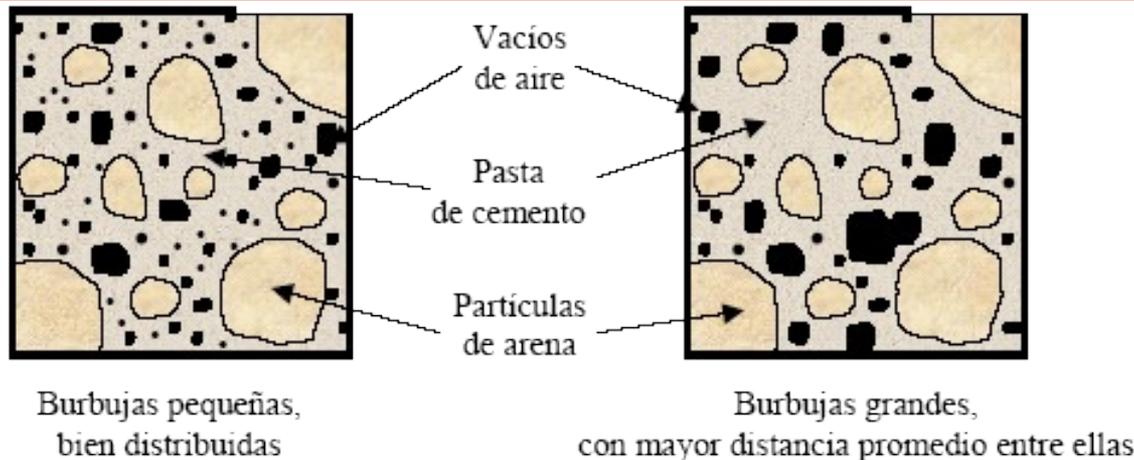
A continuación se congelan los de menor diámetro



Los inclusores de aire o aireantes son generalmente **TENSIOACTIVOS** de naturaleza orgánica que se añaden durante el amasado del hormigón como aditivos.

Las burbujas producidas tienen las siguientes características:

- Son burbujas pequeñas, de diámetro menor de 100 *mm*.
- Uniformemente repartidas por toda la masa del hormigón.
- Espaciado entre las burbujas pequeño, de aprox. 200 *mm*.



Efectos los de inclusores de aire

✿ Aumenta la resistencia del hormigón

frente a la expansión del hielo

bajan las tensiones interiores

✿ Las burbujas actúan como lubricante durante el amasado, permitiendo reducir la relación agua/cemento del amasado.

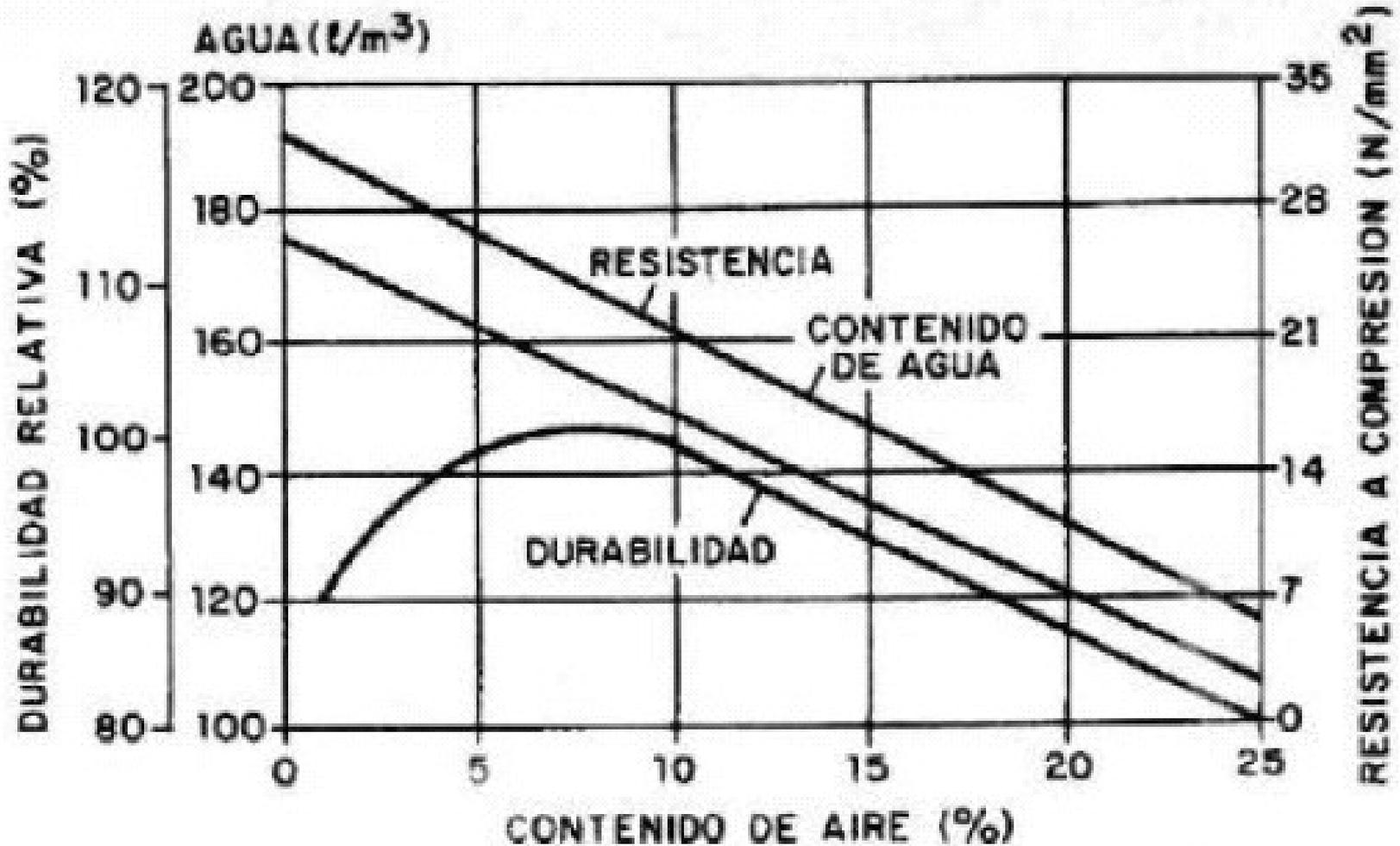
✿ Se produce una reducción de la resistencia mecánica del hormigón por el aumento de la porosidad

EL CONTENIDO DE AIRE OCLUIDO SE DEBE LIMITAR

El contenido óptimo de aire ocluido se encuentra entre el 2% y el 6%.

EHE: al menos el 4.5%





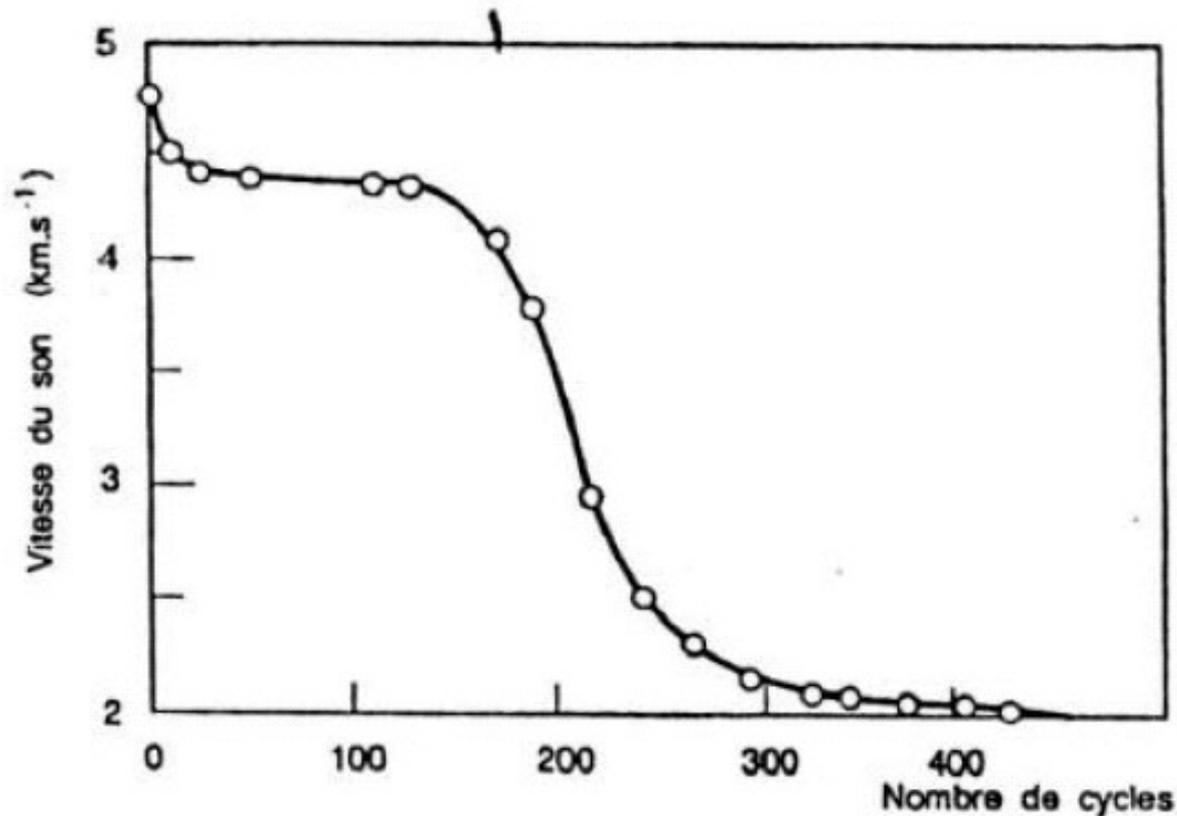
Variación de la durabilidad relativa, resistencia mecánica y agua de amasado con el contenido de aire oculto.



4.- Ciclos hielo–deshielo.

Una helada aislada del hormigón no es, en general, muy perjudicial

El problema se da cuando el hormigón se ve sometido a congelaciones repetidas



☀ Un descenso de la temperatura provoca la congelación del hormigón y su fisuración.

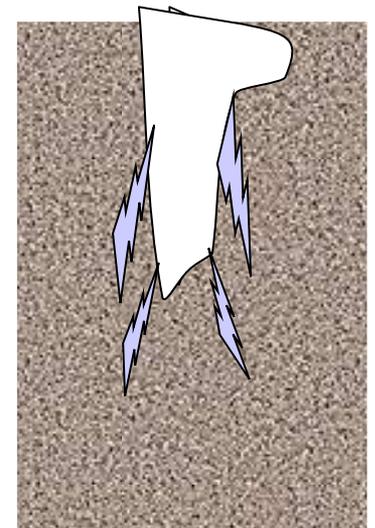
☀ A continuación se produce un aumento de la temperatura y el deshielo del hormigón.

☀ Las precipitaciones se producirán en forma de lluvia.

El agua de lluvia llena las fisuras producidas durante la congelación, manteniendo la red capilar totalmente saturada de agua.

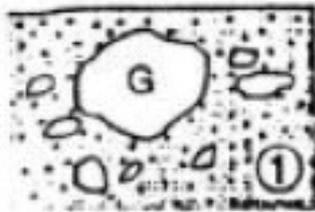
☀ Una nueva bajada de la temperatura vuelve a producir la congelación del hormigón.
Como este está saturado se producirá de nuevo la fisuración.

El ciclo
es el siguiente:



La repetición de este ciclo provoca un aumento cada vez mayor de la fisuración del hormigón.

Los áridos porosos también sufren la congelación y su fisuración debido al aumento de volumen de agua.



G : granulats gélif



→ Pressions dues au gel du granulats G et à sa dilatation



Formation d'un "cratère" par éclatement de G et du mortier de recouvrement

Este fenómeno es importante sobre todo en la superficie, provocando la destrucción del árido y la aparición de cráteres superficiales en el hormigón

Para evitar estos problemas se deben usar áridos de baja porosidad y que presenten una buena adherencia con la pasta de cemento



5. Uso de sales fundentes.

resulta muy perjudicial
para el hormigón

se utiliza cloruro sódico
o cloruro cálcico



Las disoluciones de estas sales tienen una temperatura de
congelación muy baja

(por ejemplo, -21°C para una mezcla 1:3 de NaCl en agua).

a temperatura ambiente será líquida



Las sales fundentes **reducen** la durabilidad del hormigón debido a tres causas:

- Aportan gran cantidad de ión cloruro que induce la **corrosión** de las armaduras.

- La fusión del hielo es un proceso endotérmico. La velocidad de enfriamiento puede llegar a ser de hasta $14^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Esto provoca un **choque térmico** en la superficie del hormigón que lo deteriora.

- El hormigón absorbe a través de su red capilar las sales fundentes añadidas que se acumulan en el interior del hormigón tras su uso repetido.

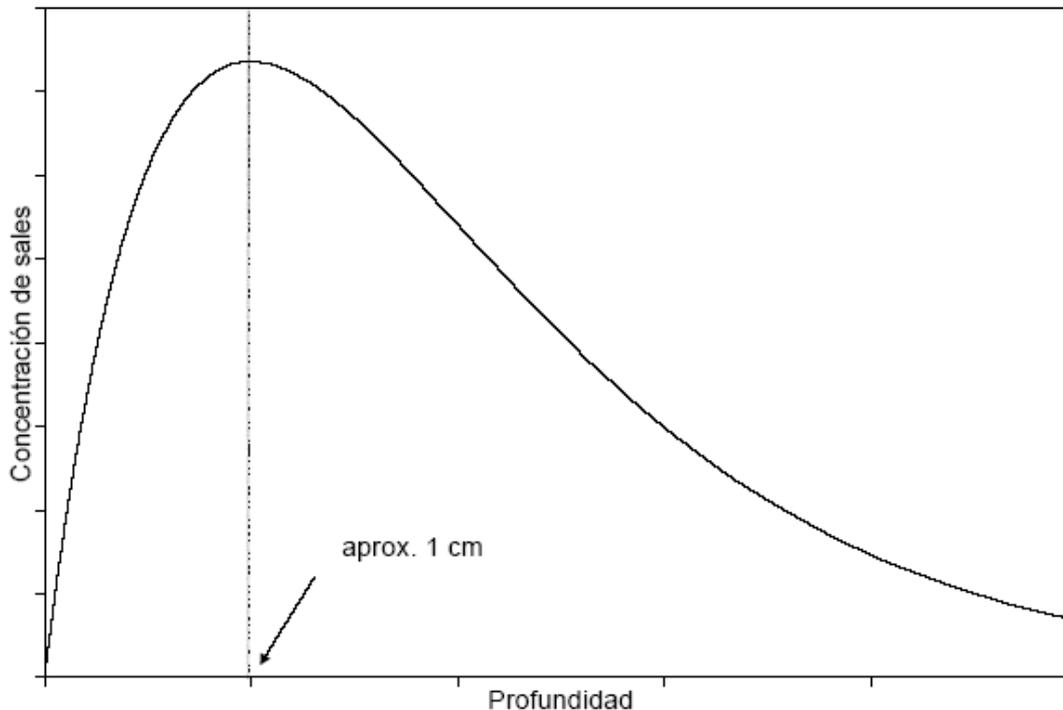
La distribución de sales que se establece en el interior da lugar a la **congelación por capas**



El uso de sales fundentes hace que estas se acumulen en el interior del hormigón.

La concentración de sales varía con la profundidad.

cabría esperar que se acumulen más sales cerca de la superficie y menos en el interior



Sin embargo, la superficie del hormigón también se ve sometida a lavado por las lluvias.

presenta un máximo a una profundidad de aproximadamente un centímetro

Concentración de sales en el interior de un hormigón debido al uso de sales fundentes

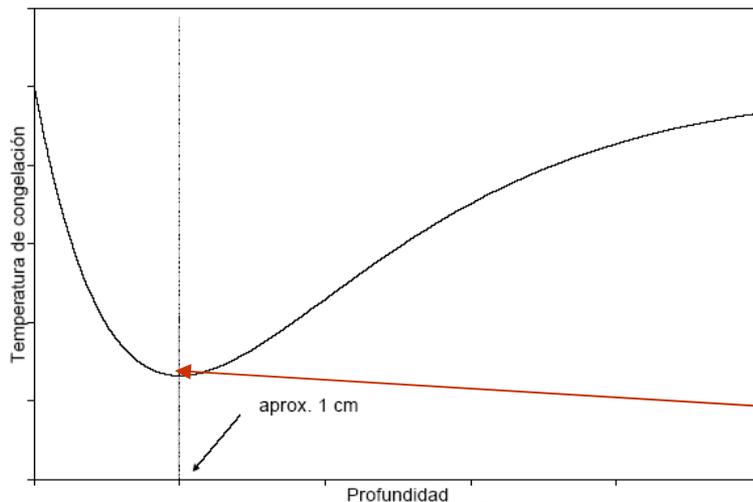


La temperatura de congelación de la red capilar depende de la concentración de sales.

la temperatura de congelación del hormigón no es uniforme sino que varía con la profundidad.

zonas de mayor concentración de sales temperatura de congelación es menor

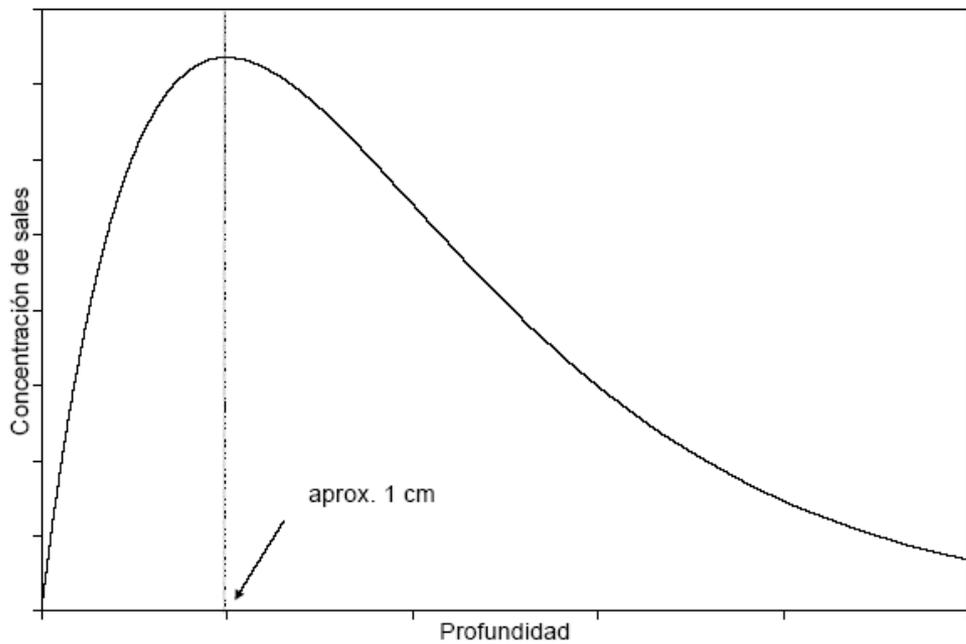
zonas de menor concentración de sales temperatura de congelación es mayor



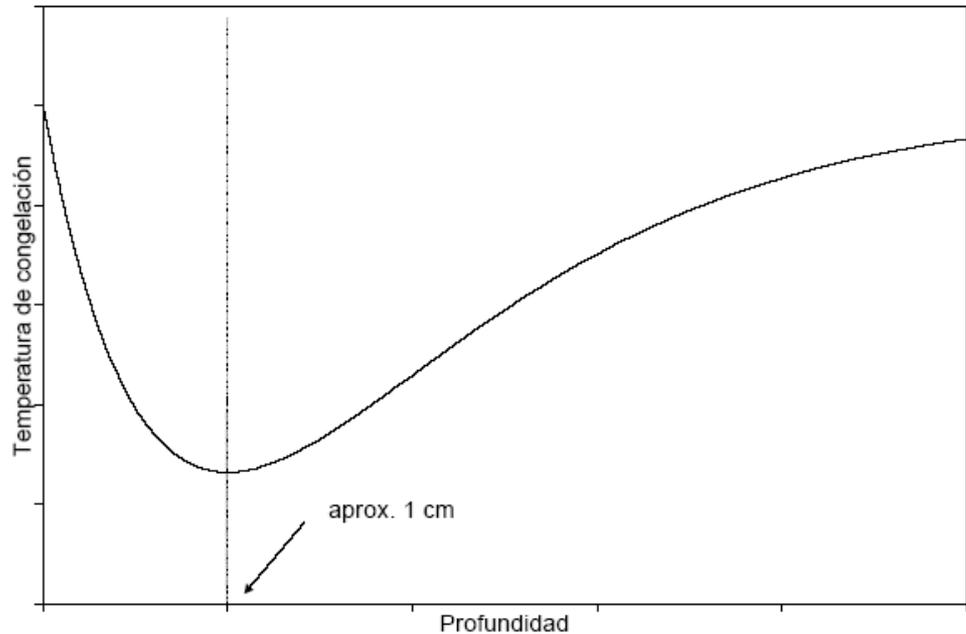
La temperatura de congelación es mínima a aproximadamente un centímetro de profundidad.

Temperatura de congelación en el interior de un hormigón debido al uso de sales fundentes.



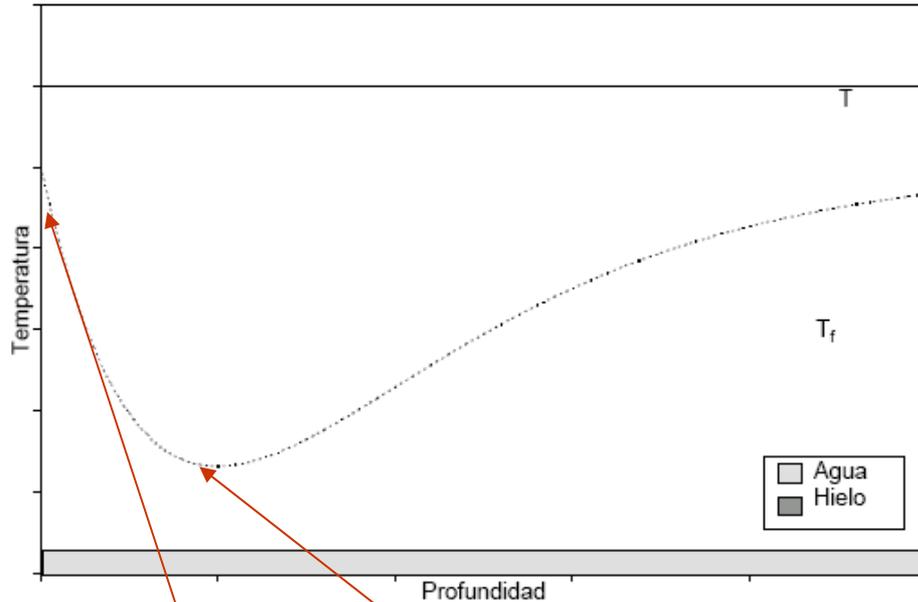
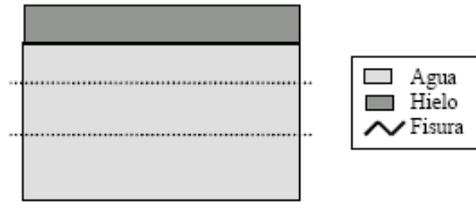


Concentración de sales en el interior de un hormigón debido al uso de sales fundentes



Temperatura de congelación en el interior de un hormigón debido al uso de sales fundentes.

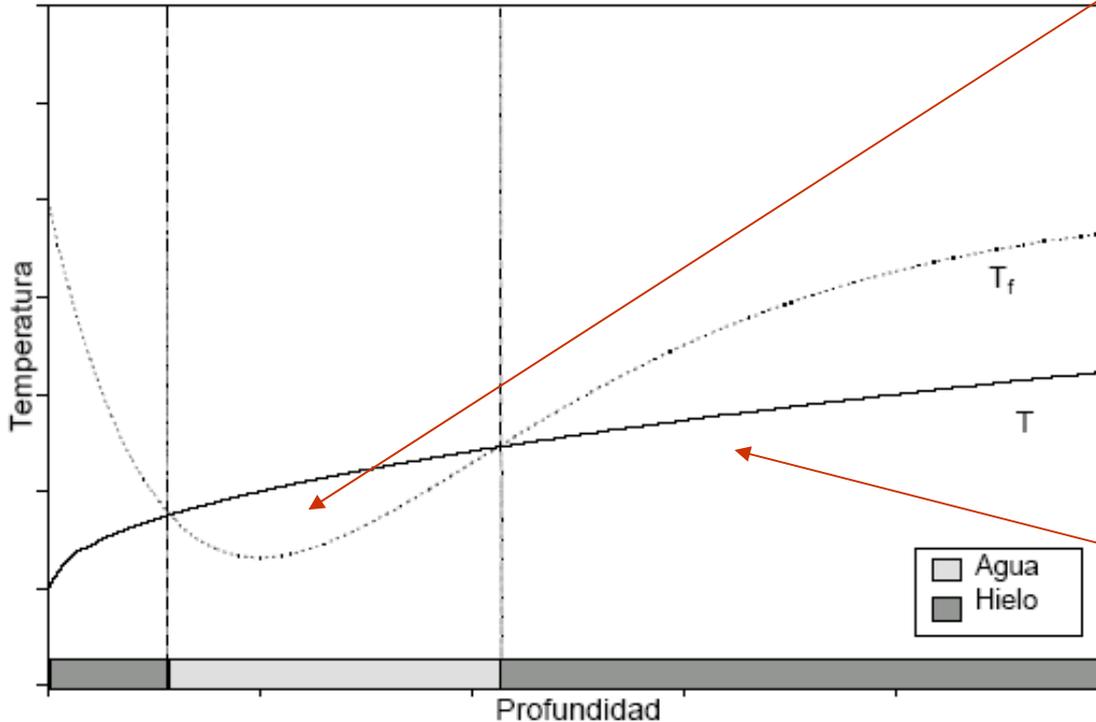
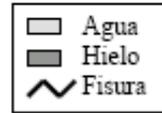




La temperatura del hormigón no es uniforme

✿ Si existe una capa de hielo sobre el hormigón la disolución interna del hormigón permanece líquida debido a la concentración de sales y a la distribución de tamaño de poros de la red capilar.





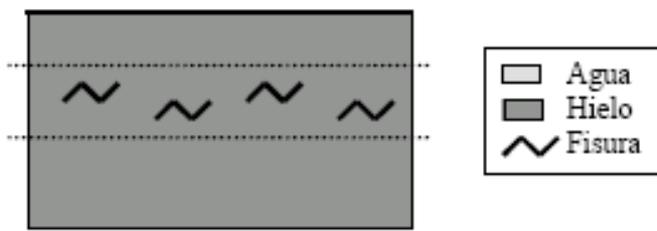
Las capas situadas a una profundidad intermedia no se congelan

Las capas más internas si que se congelan.

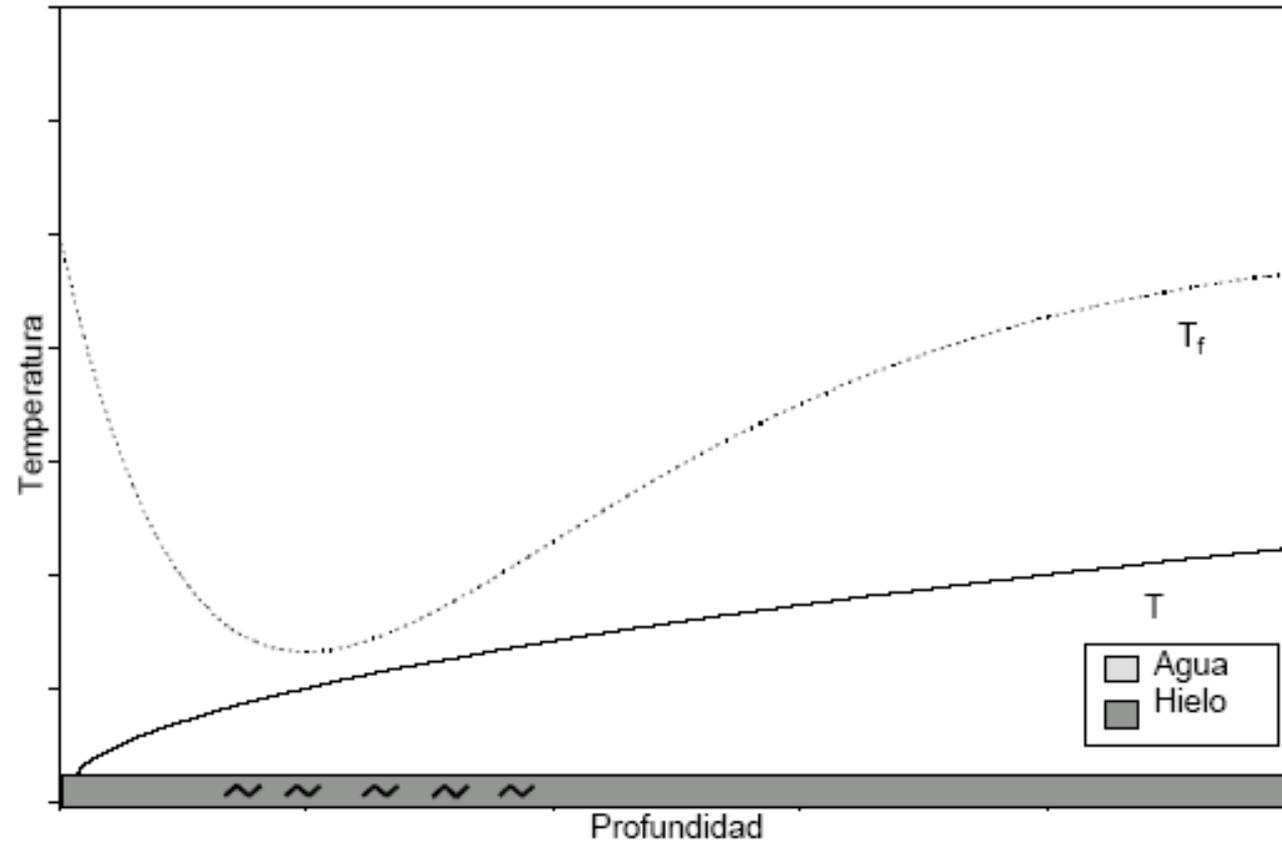
El resultado de todo esto es

el choque térmico congela la superficie del hormigón y la zona interna, pero no las capas intermedias en las que la concentración de sales es mayor.





Si la temperatura continúa disminuyendo debido al choque térmico provocado por la fusión del hielo y la capa intermedia termina por congelarse también.



El orden de congelación por tanto es: superficie – interior – zona intermedia.



Al congelarse la disolución del hormigón se produce un aumento de volumen de esta

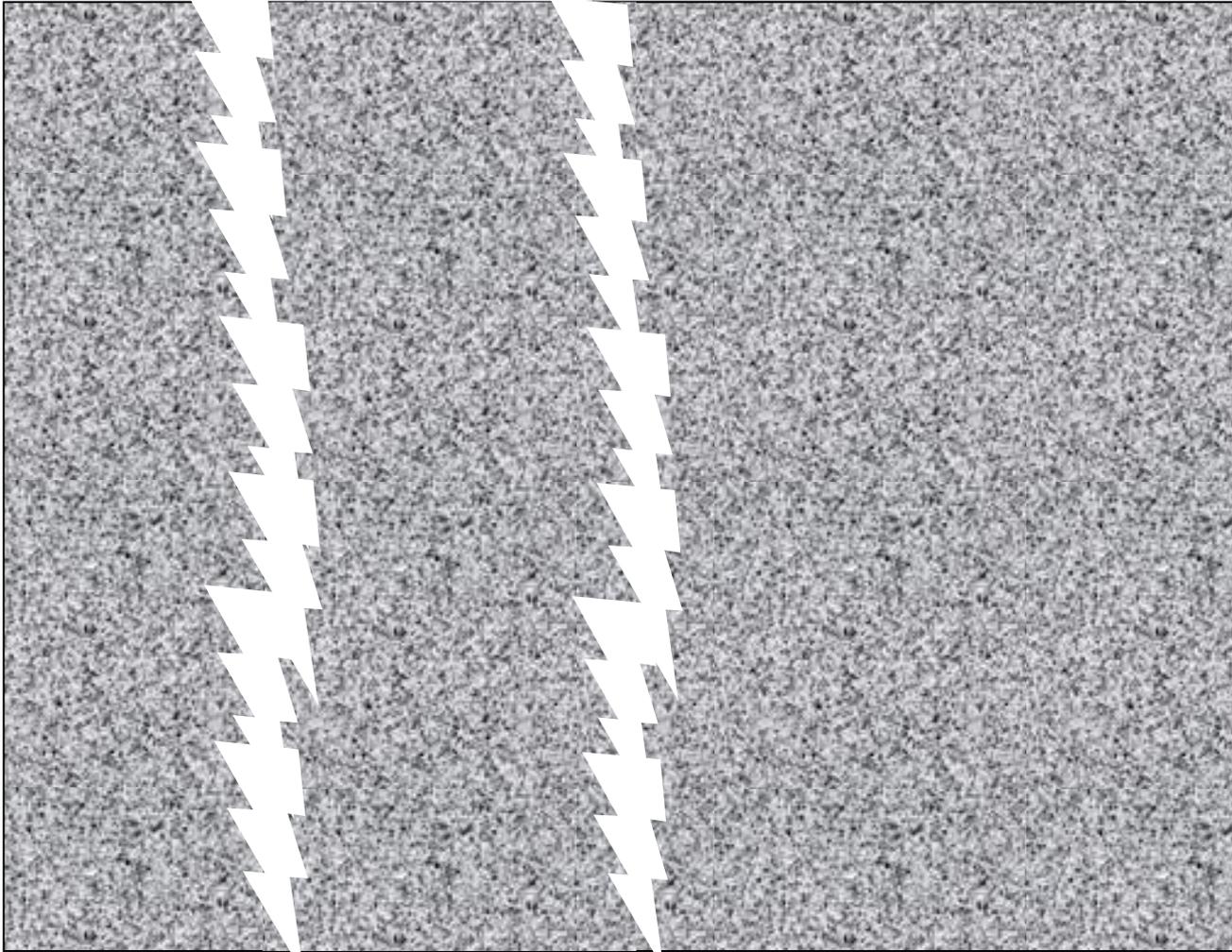
SE FORMA HIELO EXPANSIVO

En la congelación superficial e interna este aumento de volumen no es demasiado perjudicial, porque el hielo tiene otras zonas hacia las que expandirse.

Sin embargo, cuando se produce la congelación de la zona intermedia, esta se encuentra entre dos zonas ya congeladas y el nuevo hielo que se forma no tiene una zona hacia la que expandirse.

Aparecen entonces tensiones mecánicas en la zona intermedia que provocan su fisuración.





Para comprender adecuadamente los efectos que tienen los ciclos hielo–deshielo es necesario primero estudiar como se comporta el hormigón durante la congelación de su red capilar.

Los efectos nocivos que tiene la congelación del hormigón se combaten con el uso de unos aditivos conocidos como inclusores de aire o aireantes.

Finalmente se aborda en el apartado los efectos que tiene sobre el hormigón y sus armaduras el uso de sales fundentes.



