

# BOLETÍN TÉCNICO 10007

## Hormigón sometido a ciclos hielo-deshielo

### Introducción

Una de las causas principales de la degradación del hormigón en regiones frías es el efecto provocado por los ciclos hielo-deshielo. La transición del hielo al deshielo está acompañada por cambios dimensionales y cambio de la tensión interna y pudiendo causar la pérdida de la capacidad resistente del hormigón.

En ambientes sujetos a grandes variaciones de temperatura, que nos llevarán a ciclos de hielo-deshielo, el hormigón será susceptible al descascarillado y al daño microestructural interno.

En los países de clima continental el deterioro por ciclos repetidos de hielo-deshielo es causa frecuente del deterioro del hormigón. Este problema se ve incrementado por el uso de las sales fundentes empleadas en los pavimentos.

Estudiemos, brevemente, qué le ocurre al hormigón sometido a ciclos hielo-deshielo.

### 1. DURABILIDAD DEL HORMIGÓN EN CLIMAS FRÍOS

Fenómenos que deterioran al hormigón ambientes fríos:

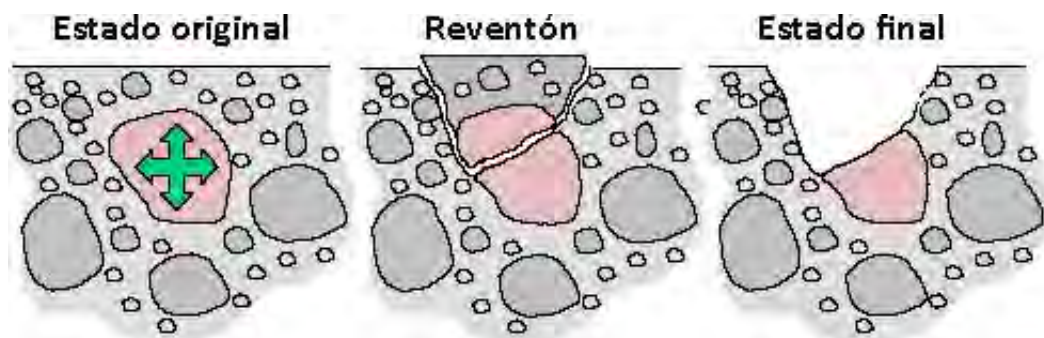
- Los ciclos hielo-deshielo del hormigón, o más concretamente, de la disolución capilar de éste. Condiciones de humedad y cambios de temperatura que producen su fisuración.
- El uso de sales fundentes que se utilizan para fundir el hielo que se forma sobre el hormigón y permitir su uso es perjudicial para el hormigón y para sus armaduras.

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

### 2. CONGELACIÓN DEL HORMIGÓN

**El agua líquida aumenta su volumen en un 9% al congelarse**, transformándose en hielo. Como la red capilar del hormigón contiene agua, al bajar la temperatura se producirá la congelación de la disolución interna del hormigón.

#### DESCASCARILLAMIENTO



Aumenta el volumen del líquido de la red capilar crea tensiones mecánicas sobre las fases sólidas finalmente fisura el hormigón. La temperatura de congelación del agua pura es de 0°C, el hormigón, en cambio, se congela a temperaturas inferiores a 0°C. Incluso para un 100% de saturación de agua, la dilatación se produce por debajo de -5°C

# BOLETÍN TÉCNICO 10007

## Hormigón sometido a ciclos hielo-deshielo

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

1. **La concentración de sales de la disolución**

Cuanto más concentrada sea la disolución más baja será temperatura de congelación

2. **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

### CONCLUSIÓN

**Cuanto menor sea el diámetro del poro “más unida” está la molécula a la fase sólida y resultará “más difícil congelarla” ya que se requieren temperaturas más bajas**

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.

### LA FISURACIÓN CAUSADA POR LA CONGELACIÓN SE DA EN LOS POROS MÁS FINOS.

Cuando la temperatura disminuye:

1. Se congelan primero los poros de mayor diámetro
2. Posteriormente los más pequeños

El agua no tiene hacia donde expandirse porque los poros de mayor tamaño ya están congelados, esto creará tensiones mecánicas en los poros de menor diámetro y su fisuración.

---

### 3. INCLUSORES DE AIRE

---

Para reducir la fisuración de un hormigón frente a las heladas se emplean los inclusores de aire. Éstos introducen burbujas de aire de pequeño tamaño dentro de la red capilar que interrumpen los capilares finos así cuando se produce su congelación el hielo se puede expandir hacia estas cavidades.

Efectos los de inclusores de aire:

- El hormigón tiene un **mejor comportamiento ante la expansión del hielo** ya que 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 debe estar **entre el 2% y el 6%**.

**La EHE recomienda al menos el 4.5%**

# BOLETÍN TÉCNICO 10007

## Hormigón sometido a ciclos hielo-deshielo

---

### 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 (ciclos hielo-deshielo).

El ciclo es el siguiente:

1. Un descenso de la temperatura provoca la congelación del hormigón y su fisuración.
2. A continuación se produce un aumento de la temperatura y el deshielo del hormigón.
3. El agua de lluvia llena las fisuras producidas durante la congelación, manteniendo la red capilar totalmente saturada de agua.
4. Una nueva bajada de la temperatura vuelve a producir la congelación del hormigón. Como este está saturado se producirá de nuevo la fisuración.

La repetición de este ciclo provoca un aumento cada vez mayor de la fisuración del hormigón. Este fenómeno es importante sobre todo en la superficie, provocando la destrucción del árido y la aparición de cráteres superficiales en el hormigón. Los áridos porosos también sufren la congelación y su fisuración debido al aumento de volumen de agua. 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

---

El uso de sales fundentes resulta muy perjudicial para el hormigón. Normalmente 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°C/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.

El hormigón presenta un **máximo de concentración de sales a una profundidad de un centímetro** aproximadamente.

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

**La temperatura de congelación del hormigón no es uniforme, varía con la profundidad.**

**Las zonas de mayor concentración de sales su temperatura de congelación es menor.**

**Las zonas de menor concentración de sales su temperatura de congelación es mayor.**

**EL HORMIGÓN PRESENTA UN MÁXIMO DE CONCENTRACIÓN DE SALES A UNA PROFUNDIDAD DE 1 cm, AQUÍ SE DARÁ LA TEMPERATURA MÍNIMA DE CONGELACIÓN.**

# BOLETÍN TÉCNICO 10007

## Hormigón sometido a ciclos hielo-deshielo

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

Al añadir las sales fundentes se produce el choque térmico. El descenso de la temperatura es mayor en las capas más superficiales del hormigón. La temperatura en esta zona desciende por debajo de la temperatura de congelación y las capas superficiales se congelan. Las capas situadas a una profundidad intermedia no se congelan, en cambio, las capas más internas sí. El resultado de todo esto es que 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 ésta.  
**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 poder solucionar y comprender adecuadamente los efectos que tienen los ciclos hielo-deshielo era necesario primero estudiar cómo se comporta el hormigón durante la congelación de su red capilar por culpa de los ciclos hielo-deshielo.

---

### 6. Krystaline ADD

---

Tradicionalmente se empleaban aditivos inclusores de aire para mejorar el comportamiento del hormigón frente a los ciclos hielo-deshielo. Pero se ha demostrado que el uso de estos aditivos disminuye la adherencia entre acero y hormigón. Además, la presencia de aire ocluido disminuye la resistencia del hormigón en aproximadamente un 15%.

Por estas razones se han buscado formas alternativas de mejorar el comportamiento del hormigón frente a ciclos hielo-deshielo. La incorporación del aditivo **Krystaline ADD** nos permitirá obtener un hormigón con una estructura porosa más cerrada a la vez que mejoraremos las propiedades mecánicas del hormigón.

El uso del **Krystaline ADD** mejorará el comportamiento del hormigón frente a ciclos hielo-deshielo.

Como hemos visto anteriormente, el proceso de deterioro es un resultado directo del ingreso de agua o humedad en los poros y capilares del hormigón durante los ciclos de hielo-deshielo en lugar de, solamente, durante la congelación. El agua se expande al congelarse en los poros y capilares y causa el agrietamiento y el deterioro dentro del hormigón. Con el paso tiempo, y después de numerosos ciclos hielo-deshielo, ingresará cada vez más cantidad de agua por lo que el proceso de deterioro se acelerará.

El deterioro inicial causado por los ciclos hielo-deshielo es suficiente para comenzar el proceso de corrosión de las armaduras. El mayor ingreso de agua combinado con el daño microestructural interno y la penetración del ión cloruro y su consiguiente corrosión del acero de refuerzo, contribuyen a la aceleración continua del proceso de deterioro.

# BOLETÍN TÉCNICO 10007

## Hormigón sometido a ciclos hielo-deshielo

**Krystaline ADD** está diseñado para **aumentar la durabilidad del hormigón** en ambientes de hielo-deshielo. Esto se logra gracias a que **minimizamos la penetración de agua en el hormigón**. El resultado es un aumento espectacular en la durabilidad del hormigón a través de muchos ciclos de hielo-deshielo

Minimizaremos el proceso de deterioro causado por los ciclos hielo-deshielo gracias al uso del aditivo **Krystaline ADD** ya que evitaremos la penetración de agua en el hormigón. El **Krystaline ADD** creará una reacción entre las partículas de cemento en el hormigón y el agua para desarrollar el crecimiento cristalino más allá de las propias capacidades naturales de hormigón, creando un hormigón impermeable. Ya que el **Krystaline ADD** detiene la entrada de agua en los poros y capilares del hormigón frenará el deterioro causado por los ciclos hielo-deshielo. **Krystaline ADD** también creará una distribución más uniforme de aire arrastrado, proporcionando un aumento mínimo en el valor de la entrada de aire del hormigón. El incluso desembolso del aire dentro del hormigón proporciona salidas eficaces para la expansión de congelación de un líquido deben hacerse presente por cualquier razón en el hormigón.

**La resistencia mecánica del hormigón es inversamente proporcional al deterioro causado por los ciclos hielo-deshielo.**

Por ejemplo, un hormigón H30 (30 MPa) tiene un peor comportamiento que el H35 (35 MPa) frente a los ciclos hielo-deshielo.

### CONCLUSIÓN

**Krystaline ADD** es la solución ideal para evitar el deterioro y aumentar la durabilidad en hormigones sometidos a ciclos hielo-deshielo.