



X-SEED:

CRISTALES PARA EL ENDURECIMIENTO RÁPIDO DEL CONCRETO

¡Para revisar el artículo completo y todas las referencias bibliográficas, ingresa aquí!

Por Paola Torres Quiroz

La nanotecnología ha llegado al campo de la Ingeniería Civil. La compañía química internacional BASF ha desarrollado un agente activador de la hidratación del cemento que utiliza esta tecnología única en el mundo. Fue desarrollada principalmente para mejorar la eficiencia en la industria del concreto prefabricado, pero puede ser aplicada en pavimentación y construcción subterránea. Ofrece, además, distintas ventajas en el vaciado de concreto in situ. La mezcla X-Seed es una suspensión de nanopartículas de hidratos de Silicato de Calcio (CSH) que actúan como "semillas" y que se añade directamente a la mezcla de concreto para acelerar su proceso de cristalización. Para hacer una comparación, con ayuda del X-Seed, el concreto puede endurecer igual de rápido a los 20°C que a los 60°C. Se puede usar en concreto bombeado, estampado, vibrado y auto-compactante. Esta nueva tecnología de aditivos es llamada "CrystalSpeedHardening" (CSH), lo cual hace referencia al mismo tiempo al Silicato de Calcio hidratado.

¿Cómo funciona?

Si queremos entender cómo actúa este químico, es importante que entendamos las primeras fases de hidratación del cemento. El clínker del cemento Portland contiene cuatro compuestos químicos mayoritarios:

- **Alita**, que es una disolución sólida del $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C3S, silicato tricálcico) y está presente en una proporción aproximada del 50-60%.
- **Belita**, (C2S, silicato dicálcico), que aparece en una proporción del 20-25%
- **C3A (luminatotricálcico)**, en proporción 5-10%
- **Fase Ferrítica**: la más conocida C4AF (ferrita aluminato tetracálcico)

Cuando el clínker sale del horno, es molido con yeso; de esta manera, se obtiene el cemento Portland. El objetivo del yeso es retardar el rápido fraguado que origina la alta reactividad del C3A con el agua. Según su velocidad de reacción con el agua, se pueden ordenar de la siguiente manera: C3A > C3S > C4AF > C2S. Otros compuestos del cemento son los sulfatos y los iones alcalinos que cumplen una función secundaria.

La fuente de la mayoría de los sulfatos es el yeso y se obtienen, en menor cantidad, del combustible que se emplea en el horno. Los iones alcalinos provienen de las materias primas empleadas en la fabricación del clínker y su cantidad total se expresa en Na_2O , que equivale entre 0.3 y 1.5%.

La hidratación de la alita es la que controla el fraguado normal y el desarrollo de resistencias. Se realiza en cuatro etapas:

I. Etapa de pre-inducción:

$3\text{C}_3\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{Ca}^{2+} + \text{SiO}_2\cdot 2(\text{disolución})$

II. Etapa de inducción:

$3\text{Ca}^{2+} + \text{SiO}_2\cdot 2(\text{dis.}) \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CSH}$

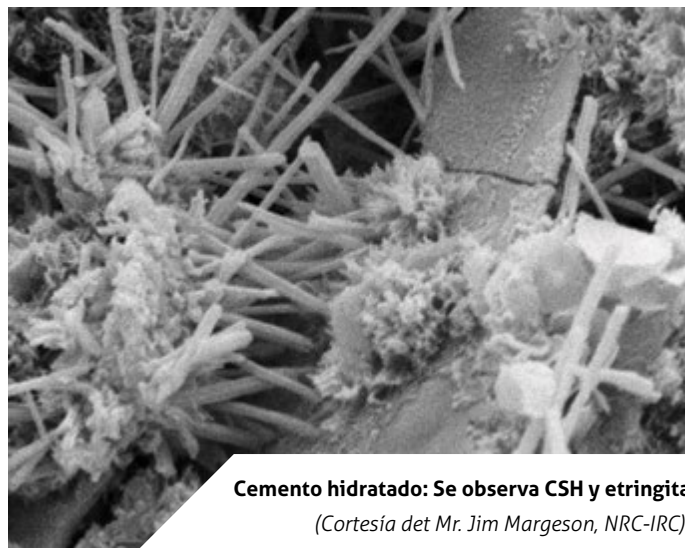
III. Periodo de hidratación media:

rápida precipitación de CSH junto con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$

IV. Periodo de hidratación final:

Se forma una estructura de CSH densa.

Luego, se produce la hidratación del C3A y del C4AF de similar manera, pero la primera es más rápida que la segunda. Por último, se produce la hidratación de la belita, y se define la resistencia a largo plazo. Son tres los principales compuestos hidratados en la pasta de cemento:



Cemento hidratado: Se observa CSH y etringita
(Cortesía del Mr. Jim Margeson, NRC-IRC)



Cristales activos creciendo entre los granos de cemento.

- **Gel CHS (60% del volumen de la pasta del cemento)**, es el producto de la hidratación de la alita y la belita.
- **La portlandita**, (25% del volumen), también se produce en la hidratación de la alita.
- **Etringita**, es una capa protectora que se forma sobre los gránulos de cemento para retrasar la hidratación de los aluminatos. Es el producto de las reacciones entre el yeso, el C3A y el agua. (15% del volumen de la pasta del cemento),

Se puede considerar que cada uno de los principales compuestos químicos del cemento pasa por un proceso de hidratación independiente. La alita y la belita pasan casi por el mismo proceso de hidratación; el principal producto es el hidrato de Silicato Cálcico (CSH), principal responsable de la resistencia que el concreto alcance.

En resumen, el proceso de hidratación del cemento es muy complejo, pero la principal idea es que al entrar en contacto el agua y el cemento se produce la formación de cristales de CSH como resultado de la hidratación. Con la tecnología denominada SEEDing, los nanocristales de CSH suspendidos que se añaden a la mezcla actúan como núcleo de cristalización, facilitando la formación acelerada de gel CSH durante la primera etapa de hidratación del cemento. Al acelerar la formación de estos cristales, se logra un desarrollo rápido de la resistencia del concreto. Se ha observado que los cristales del X-Seed muestran un comportamiento preferencial de crecer entre las partículas de cemento, y no en su superficie. Por lo tanto, el crecimiento de la estructura cristalina es mucho más rápido, y el endurecimiento y el desarrollo de la resistencia se producen a tempranas edades.

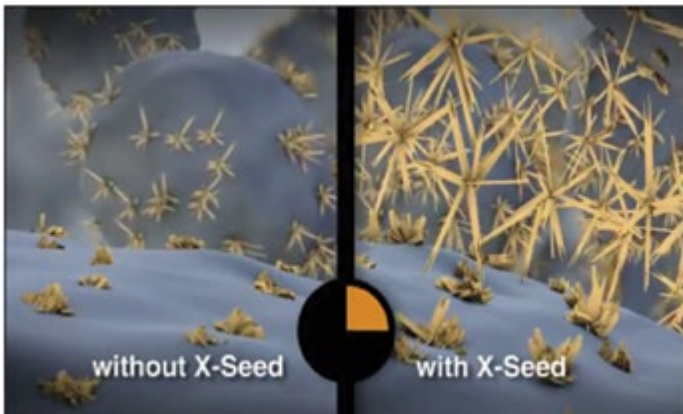
Beneficios

1. Acelera el desarrollo de las resistencias iniciales sin afectar las resistencias finales del concreto; incluso las mejora. Métodos como los aceleradores tradicionales o la aplicación de calor suelen afectar el costo y la durabilidad del hormigón.
2. Protege el hormigón frente a la corrosión, pues incrementa la durabilidad de la estructura. Esto se debe a que el desarrollo de cristales entre las partículas de cemento construye una estructura más cerrada que favorece la durabilidad del hormigón.
3. Es desencofrado en la mitad del tiempo estimado, lo que permite el aumento de la producción sin descuidar la calidad en el proceso. Mayor rendimiento de los encofrados.
4. Minimiza o elimina los gastos de calefacción (curado térmico para acelerar la producción o en periodos de invierno).
5. Permite usar la cantidad mínima de cemento necesaria, optimizando el diseño de la mezcla, y reduciendo al mismo tiempo las emisiones de CO₂. Se puede emplear con cementos de desarrollo lento en resistencia e incluso constituye una alternativa importante para el caso de cementos adicionados.
6. Master X-Seed funciona en concreto a cualquier temperatura, en invierno, verano y bajo condiciones de curado de vapor (curado térmico).

Modo de utilización

Master X-Seed 100 es un aditivo líquido blanco listo para ser utilizado. Se añade al hormigón durante el proceso de mezcla, respetando un tiempo de mezclado mínimo para asegurar su dispersión homogénea. La dosificación recomendada es de 2 a 4 litros por 100 kg de cemento.

Cristalización de CSH a 3 horas.



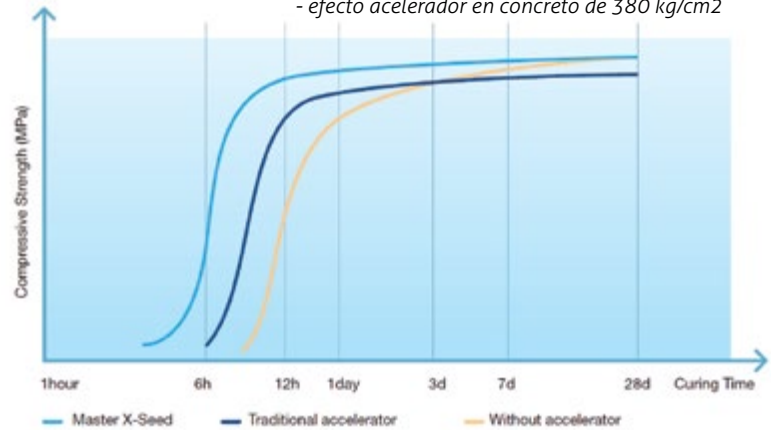
Uso en el concreto prefabricado

Actualmente, el sistema prefabricado de concreto tiene múltiples aplicaciones en el diseño de todo tipo de infraestructura. Millones de elementos estructurales son prefabricados e instalados directamente in situ; por esta razón, es importante innovar en este sector de la construcción. El principal objetivo del X-Seed es la producción de hormigón sostenible. Permite a la industria del concreto prefabricado lograr una mejor economía en el proceso, con mayor calidad del hormigón y aumento de la eficiencia energética a fin de ahorrar tiempo y dinero, y reducir las emisiones de CO₂. Como se mencionó, a diferencia de los métodos tradicionales como la aplicación de calor o los aceleradores comunes, este aditivo no afecta las propiedades mecánicas del concreto.

El X-Seed ha sido probado en obras de gran magnitud, no solo para la industria del prefabricado. Se ha usado en el revestimiento de concreto in situ para los túneles de la red ferroviaria de alta velocidad que conecta Madrid, Bilbao y Donosti en España, donde demostró un incremento del 20% en la producción, así como en la trabajabilidad. También se utilizó en la base de la Torre central de Shanghai, donde se tenía que vaciar una cantidad de 61000 m³ de concreto en 60 horas. Los proveedores de concreto se enfrentaron con el reto de garantizar la calidad del concreto y, al mismo tiempo, cumplir con los tiempos de construcción programados. La solución que encontraron fue la utilización de un concreto inteligente dinámico, que, junto con el X-Seed, aseguraba la trabajabilidad y durabilidad del mismo. Esta torre será un edificio de 632 metros con 121 pisos, cuya construcción se inició en el 2008 y se estima que será terminada este año.

Desarrollo de resistencia

- efecto acelerador en concreto de 380 kg/cm²



Posibles usos en Perú

Como mencionó la profesora Laura Navarro en uno de los eventos que organizó el grupo Civilízate, el Perú se está enfrentando a grandes retos en lo que a obras de construcción concierne. La construcción del tramo de la Línea 2 del Metro es una de ellos. La demanda de concreto será muy grande y posiblemente el uso de elementos prefabricados también. Es necesario que los proveedores de concreto del país apliquen nuevas tecnologías para cumplir con la demanda y no dejar a otras obras de edificación desprotegidas.

Además, la optimización de la capacidad de producción en obras de gran magnitud es esencial; esto se podría lograr con el uso del X-Seed. El profesor Julio César Carhuamaca, también profesor del curso de Materiales de Construcción, resalta la importancia del X-Seed en la industria del prefabricado. Esta industria requiere concretos de alta resistencia inicial, entre 21 o 28 Mpa (aproximadamente 280 kg/cm², en un plazo de 12 a 16 horas). Esto se debe a que los moldes que se usan para el prefabricado tienen que ser reusados, y, mientras más rápidos se puedan volver a usar, mejor. Estos elementos de concreto necesitan una alta resistencia inicial para poder ser desmoldados, izados, transportados y puestos en obra. También resalta el ahorro de energía que se lograría con esta nueva tecnología de aditivos; al mismo tiempo, es amigable con el medio ambiente. Opina que el uso del X-Seed en nuestro país, como, por ejemplo, en la construcción de la Línea 2 del Metro, requeriría pruebas con el cemento de nuestro medio para calcular las dosis necesarias.