



**Eduardo de J. Vidaud Quintana**

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es: [evidaud@mail.imcyc.com](mailto:evidaud@mail.imcyc.com)



## ADITIVOS

# Aditivos químicos para mezcla semiseca de concreto prefabricado (Parte II)

**E**N LAS MEZCLAS semisecas es factible utilizar aditivos para diferentes fines como son: acelerar el fraguado del cemento, reducir el agua de amasado, impermeabilizar, reducir la eflorescencia y mejorar la compactación. De ellos, los aditivos mejoradores de compactación y reductores de eflorescencia son ampliamente usados porque inciden directamente en la productividad y calidad de los productos fabricados.

Los aditivos mejoradores de compactación, especialmente los diseñados para mezcla semiseca, se utilizan para mejorar sus características tanto en estado fresco como endurecido, resultando finalmente en una producción más económica y de mejor calidad.

En general, los aditivos funcionan dispersando el cemento y reduciendo la tensión superficial, facilitando la hidratación del cemento. Con estos aditivos se logra un incremento en la densidad al mejorar la compactación y mayor resistencia como resultado del aumento de la densidad. Al obtenerse una mayor cantidad de pasta, se logra un notorio mejoramiento en el aspecto y lisura de los lados, reduciendo también el desgaste de los moldes. La dispersión es menor, por lo cual se optimiza la dosificación. Se reduce la tendencia a la eflorescencia al reducir la absorción capilar y se aumenta la resistencia al ciclo hielo-deshielo.

Los aditivos reducen la eflorescencia por medio de la minimización de la absorción capilar de agua e incrementan la impermeabilidad al agua de lluvia. En general, los aditivos mejoran la compactibilidad, homogeneidad y apariencia de los elementos prefabricados. Los efectos pueden evaluarse en la mezcla fresca, en la mezcla endurecida, en la apariencia, y en la productividad.

Entre los efectos de los aditivos en la mezcla fresca se evidencia la formación de pasta de cemento en los lados, con un mejor desmolde, y la alta resistencia a edad temprana, inmediatamente después de la compactación.

Asimismo, entre los efectos en la mezcla endurecida pueden citarse el incremento de la resistencia mecánica, una menor variación de la resistencia, calidad constante como resultado de la reducida fluctuación de la compactación, reducción de la absorción de agua por capilaridad, mayor resistencia a los ciclos de hielo-deshielo, y mayor durabilidad por la obtención de productos más densos.

En cuanto a los efectos en la apariencia, con estos productos pueden alcanzarse colores brillantes, menor eflorescencia por la reducción de la absorción capilar, una excelente apariencia por el color intensificado, y la protección contra los musgos y algas debido a las propiedades hidrófugas.

Por último, entre los efectos en la productividad se presentan ahorros de tiempo en la producción por compactación más rápida e intensa; la reducción de desgaste en equipos y moldes por la mayor pasta en las superficies; presencia de formas uniformes de los productos; optimización de la dosificación por menor dispersión de la resistencia; rechazos minimizados por menor variación de la compactación; y menores reclamos de clientes como resultado de la calidad constante y aspecto uniforme.

Los diferentes aditivos influyen en mayor o menor medida en las propiedades de las mezclas semisecas. Determinados aspectos deben ser considerados al elegir un aditivo para una acción específica en el concreto, entre ellos: llenado más rápido de los moldes, mejora de la plasticidad y densidad, mejora en la suavidad de los lados, obtención de un efecto "antipegajoso", resulta en alta resistencia inicial (24 horas) y alta resistencia final (28 días), colores más intensos y reducción de la eflorescencia y/o la absorción de agua.

Diferentes formulaciones de aditivos tienen distinta intensidad en cada una de estas variables; razón por la que el aditivo a usar deberá ser elegido considerando cuál es la característica principal que se desea obtener de la mezcla semiseca. **C**

### REFERENCIAS:

De la Peña B., "Aditivos químicos para concreto de prefabricados de mezcla semiseca", publicado en XV Jornadas Chilenas del Concreto, 2005.



## PISOS INDUSTRIALES

# Breves apuntes acerca de la construcción de pisos industriales

**L**OS PISOS industriales son estructuras de concreto que tienen características especiales, como su alta planicidad, resistencia mecánica, resistencia química, y resistencia al impacto. Estos elementos estructurales deben ser durables y tener un equilibrio entre costo y funcionalidad, dado que son diseñados para industrias que no se pueden detener en la realización de mantenimientos periódicos.

Hoy en día, estos pisos industriales se construyen usando fibras sintéticas o metálicas, acero de refuerzo, aditivos reductores de contracción, e incluso se utilizan concretos postensados para disminuir los problemas causados por los diferentes tipos de contracción.

Los pisos industriales postensados generan altos costos de construcción (torones, gatos hidráulicos, armado de ductos) y exigen la contratación de mano de obra calificada. También se ha probado el uso de macrorefuerzo metálico y/o sintético, lo cual ayuda a disminuir los esfuerzos de contracción en el concreto. Aunque su mayor aporte es el soporte de los esfuerzos por fatiga y post-fisuración, en algunos casos con dosificaciones elevadas generando mayores costos y con limitantes como el bombeo; que en la mayoría de los casos no es permitido para concreto con fibras metálicas, por los daños que éstas pueden ocasionar al equipo.

Adicionalmente las losas de concreto utilizadas en la construcción de pisos industriales o pavimentos rígidos, logrados sin presencia de fisuras, no son tan extensas como los tableros de losas ejecutados con concretos postensados.

En la tecnología de concreto se refiere al Concreto de Contracción Compensada, que puede ser fabricado con un aditivo tipo G<sup>(1)</sup>, el cual en combinación con el cemento genera un efecto expansivo en estado fresco y endurecido. Esta expansión minimiza el agrietamiento

presentado durante la contracción por secado de las losas.

El efecto expansivo también puede ser logrado por medio del empleo de un cemento expansivo, como por ejemplo el tipo K<sup>(2)</sup>, que básicamente busca producir etringita con diferentes tipos de mezclas, que junto con el cemento y el agua reaccionan expansivamente. Estos efectos también se logran con componentes expansivos que buscan producir etringita o cristales de hidróxido de calcio y que incrementan el volumen del concreto significativamente.

Todas las variantes de los aditivos expansores están basados en la formación de etringita<sup>(3)</sup> en cantidades considerables durante los primeros días de curado. Esta etringita logra atraer una gran cantidad de moléculas de agua, que causan una repulsión entre partículas, la cual a su vez produce una sobre expansión de la matriz que le confieren las características de expansión al concreto.

La expansión potencial producida por la formación de etringita es controlada usando acero de refuerzo común, el acero restringe la expansión global, de tal forma que el acero resiste los esfuerzos a tensión en el concreto y el concreto resiste los esfuerzos a compresión. **C**



<sup>(1)</sup> Aditivo reductor de agua de alto rango y retardador, según ASTM C494.

<sup>(2)</sup> El cemento tipo K, de acuerdo a la norma ASTM C-845, es un cemento expansivo usado comúnmente para la construcción de pisos de contracción compensada.

<sup>(3)</sup> La etringita es un mineral de sulfato de calcio hidratado de aluminio descrito por primera vez en la década de 1870 por un hecho cerca del volcán Bellerberg Ettringer, en Alemania.

### REFERENCIAS:

Gracia, O.; Quesada, G.; Gómez, A.; Santacruz, Arias, L. "Estudio de la Tecnología de Concretos de Contracción Compensada aplicada a la construcción de Pisos Industriales", <http://www.scielo.cl/pdf/oyp/n13/art05.pdf>



## SUSTENTABILIDAD

# Cemento verde, opción para el concreto sustentable

**L**A FABRICACIÓN de cemento es una fuente importante de gases de efecto invernadero; reducir este impacto negativo al medioambiente significa el dominio de uno de los materiales más complejos conocidos. La producción mundial de cemento por año es sin duda considerable; además, según numerosas investigaciones, tiene tendencia al aumento cada año.

La forma más utilizada de este producto es el cemento Portland; un producto en cuyo proceso de fabricación envía a la atmósfera casi una tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por cada tonelada de producto final.

Se presentan muchas interrogantes ante la comunidad de especialistas; al respecto y frente a las dudas relacionadas con las complejas reacciones químicas que se producen al mezclarse con el agua. No pocos consideran que el cemento es una de las sustancias más complejas conocidas en la ciencia de materiales. Al respecto, Kenneth Snyder especialista del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología en Gaithersburg, Maryland en Estados Unidos, afirma que "... los detalles de lo que ocurre cuando el agua toca polvo de cemento, son un asunto de intenso debate".

En este contexto se han presentado varias alternativas entre las que sobresale la adopción de los llamados cementos verdes o sustentables. Sus planteamientos van desde el apoyo a investigaciones básicas, hasta poder llegar a reformular los códigos internacionales de construcción y, si se tiene éxito, poder con ello contribuir a reducir a la mitad la huella de CO<sub>2</sub> de la industria del cemento.

El Centro del Concreto Sustentable (CSHub por sus siglas en inglés) es uno de los mayores centros de investigación académica del campo. Fundada en 2009 con fondos de patrocinadores de la industria por un total de 10 millones de dólares americanos en cinco años, el CSHub cuenta con una docena de los principales investigadores que buscan estudiar el cemento, considerando lo que ocurre a escala molecular, durante su proceso de fabricación.

El proceso de fabricación del cemento, como se conoce, comienza con una mezcla de piedra caliza y arcilla; cada uno aportando al compuesto su propia química e impurezas, los que reaccionan de diversas maneras al quemarse juntos en un horno a 1500 °C. De este proceso

surge el denominado clinker con su color grisáceo; que es una mezcla que contiene óxidos de silicio, hierro y aluminio (derivados principalmente de la arcilla) y óxido de calcio, que se forma cuando el calor impulsa el CO<sub>2</sub> del carbonato de calcio de la piedra caliza.

Este CO<sub>2</sub> es una fuente importante de emisiones del proceso, el combustible empleado para calentar el horno es el otro. Una vez que el clinker se haya enfriado, se combina con yeso, moliéndose hasta reducirlo a polvo con una consistencia muy similar a la de la harina. El polvo de cemento se mezcla con agua para formar una pasta; que luego se puede mezclar con arena y grava para formar el concreto.

La mezcla obtenida puede mantenerse fluida durante las primeras horas, después de lo cual se inicia un complejo proceso de reacciones químicas simultáneas para producir los productos que llevan al endurecimiento. Lo más importante para el material final son las reacciones de hidratación que convierten el agua y clinker en polvo a piedra artificial; una matriz de silicato de calcio hidratado (C-S-H).

Los especialistas afirman que C-S-H es una fórmula muy imprecisa. Sus componentes no tienen proporciones de ajuste, y los productos de reacción en una muestra de concreto curada dependen de los componentes iniciales, de la cantidad de agua, de la relación de calcio a silicio, de los aditivos, de la temperatura y de la humedad.

A pesar de estos desafíos, expertos del CSHub están avanzando en el estudio de las emisiones de carbono. Una prometedora línea de trabajo consiste en encontrar maneras de reducir la temperatura de cocción y con ello quemar menos combustible. Los principales objetivos son los compuestos: alita y belita, dos de los principales minerales en el clinker que dan lugar a la C-S-H.

Alita (Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>) es el más reactivo de los dos; comienza a curar horas después de la adición de agua, ofreciendo al concreto su resistencia inicial. Este requiere de 1500 °C para formarse, mientras que la belita (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) se produce a unos 1200 °C. Los compuestos belíticos son más resistentes; pero pueden demorar días o incluso meses para comenzar el endurecimiento. Otra de las líneas de investigación explora si algunas estructuras cristalinas belíticas podrían ser tan reactivas como la alita y aún así, formarse a temperaturas más bajas con el consecuente ahorro de combustible. **C**

### REFERENCIAS:

<http://www.nature.com/news/green-cement-concrete-solutions-1.12460>, visita Marzo 2013.



## OBRAS DE INGENIERÍA

# Metro de Sao Paulo (Parte I)

**L** A CRECIENTE necesidad de ejecutar obras subterráneas en centros urbanos densamente ocupados, plantea un gran reto, ya que al mismo tiempo en que se realiza una obra de alto impacto, se debe buscar reducir al mínimo las interferencias causadas por la misma.

Debido a lo anterior, es mucho más frecuente la construcción de túneles para realizar excavaciones parciales o completas en centro urbanos, para que conforme se va haciendo el túnel se vaya instalando el refuerzo respectivo que garantice la estabilidad de la obra y la seguridad de los operarios. El uso de equipos y de diferentes revestimientos ha ido experimentando una evolución impresionante debido a que los requerimientos de las obras cada día constituyen un reto más difícil de lograr.

El sistema de transporte masivo de Brasil (el primer metro de este país) funciona desde el 14 de septiembre de 1974. Con algo más de 61 km de longitud total repartidas en 4 líneas y 55 estaciones, recorre la ciudad llevando en sus trenes a las 1936 personas que ingresan al sistema por día.

Cuando se tienen líneas de más de 10 km y que atraviesan importantes vías con alto tráfico, difícilmente se puede utilizar un único sistema constructivo; por lo que se pueden encontrar tramos a nivel de piso y otros subterráneos; para estos últimos siempre es necesaria una previa investigación de las condiciones del suelo evitando sorpresas y sobrecostos, razón para la que es muy útil el asesoramiento sobre diferentes sistemas y tecnologías que disminuyan los impactos en la superficie.

La construcción de la Línea 4 del metro de Sao Paulo en específico, fue todo un reto para la ingeniería; ya que las condiciones que se

requerían hacían que esta obra fuera pionera en el uso de tecnologías en Latinoamérica; especialmente el tramo entre la estación Faria Lima y el pozo João Teodoro en que se exigen una atención especial en términos de la importancia de las rutas en las cuales se estaría excavando el túnel. De este modo y para conservarse las carreteras, el medio ambiente y la vida cotidiana de los ciudadanos, los involucrados en el proyecto han hecho uso de la última generación de recursos y tecnología para garantizar el mínimo impacto de las excavaciones en la vida diaria de la ciudad.

Las condiciones técnicas en la construcción de una línea de metro, implican el cumplimiento de altos estándares de calidad y de exigentes normas internacionales. Se deben tomar en cuenta no solo la preservación del medio ambiente, los patrimonios históricos o las afectaciones a terceros, sino también las características del suelo, la topografía, el material disponible y el tiempo de ejecución del proyecto.

Para la construcción de la Línea 4 fue necesario implementar diferentes formas de excavación debido al tipo de suelo, y al nivel de ocupación de algunos lugares. Se determinó que 7.5 km serían excavados con tuneladora, y el tramo restante se haría de forma convencional con excavadoras.

Además de las condiciones generales de excavación, algunos puntos fueron objeto de estudios específicos y el acondicionamiento del equipo adecuado. Entre estos puntos, podemos citar como de mayor importancia los siguientes: la proximidad a las cimentaciones de los edificios existentes; la existencia de arcilla; el cruce de los túneles de la Línea 2; el cruce por el complejo viario Roosevelt; la proximidad de edificios importantes; los tramos con alto nivel de interferencia y con alta presión hidrostática, entre otros. **C**



### REFERENCIAS:

Pellegrini M., "Metro de San Pablo: Tecnología de Bajo Impacto para Excavaciones de Túneles en Centros Urbanos", adaptado de lo publicado en la revista "Noticreto", #90, Septiembre-Octubre del 2008.