

Actualización Tecnológica

Evaluación de las causas de la eflorescencia en los productos manufacturados de concreto y pautas recomendadas para el control de eflorescencia

BASF

The Chemical Company

En este informe técnico, la eflorescencia primaria y secundaria son definidas y evaluadas en detalle. Hay muchos factores que contribuyen a la eflorescencia, incluyendo: contenido de cemento, contenido de álcalis, agua de amasado, relación agua-cemento, permeabilidad, aditivos usados, y el proceso de curado. El ajuste de uno o más de estos factores tiene un efecto sobre las tendencias a la formación de eflorescencia. A pesar de que la eflorescencia no puede ser evitada totalmente, puede ser controlada usando prácticas recomendadas y el aditivo repelente de agua RHEOPEL®. En este documento, se discuten los métodos más avanzados disponibles para los productos manufacturados de concreto.



¿Qué es eflorescencia?

La norma ACI 116R define la eflorescencia como “Un depósito de sales, usualmente blanco, que se forma en la superficie, cuando la sustancia en solución emerge del interior del concreto o mampostería y seguidamente se precipita por reacción, como son la carbonatación o evaporación”. A pesar de que la eflorescencia no daña la integridad del concreto, afecta la calidad estética del producto y es un problema que le resulta caro a la industria del concreto.

Eflorescencia Primaria vs. Secundaria

Con frecuencia, la distinción entre eflorescencia primaria y secundaria es arbitraria. La eflorescencia primaria generalmente ocurre en el proceso de fabricación del producto de mampostería de concreto y durante el curado. La eflorescencia que se da al usar el bloque en la construcción es llamada secundaria. No hay una aceptación generalizada en relación a cuándo la eflorescencia primaria deja de ser, y, cuándo comienza a ser secundaria. En este documento, la eflorescencia que ocurre aproximadamente 48 horas después de su producción, es considerada primaria.

La eflorescencia primaria se da durante la producción y proceso de curado inicial de los productos de mampostería de concreto, cuando

el exceso de agua de la fabricación se convierte en vehículo para el transporte de las sales solubles. Estas sales solubles son introducidas principalmente por el cemento, pero también pueden originarse con el agua y/o agregados.

La eflorescencia secundaria ocurre cuando el agua de una fuente externa (como lluvia) es absorbida en el concreto del producto, disolviendo cualquier sal disponible dentro de la matriz del concreto. La eflorescencia puede entonces suceder mientras estas sales migran a la superficie.

¿Qué causa la eflorescencia?

Para que la eflorescencia ocurra, se requiere de la presencia de las siguientes tres:

- Deben haber sales solubles disponibles
- Debe haber una fuente de agua que está en contacto con estas sales, que forman una solución salobre
- Debe haber una ruta para que la solución salitrosa se transporte a la superficie, donde se evapora y deja un depósito de sal

La minimización de la eflorescencia debe encarar una o más de estas condiciones.

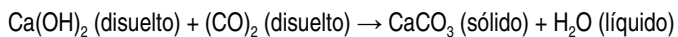
Mecanismo

Las sales más comunes causantes de

**Master
Builders**

Pautas recomendadas para control de eflorescencia

eflorescencia son, carbonato de calcio, sulfato de sodio y sulfato de potasio. Hay sin embargo, muchas otras sales que han sido observadas, especialmente cuando hay materiales inusuales en la mezcla de concreto. En la práctica, el carbonato de calcio es el producto de eflorescencia más común. En la medida que el cemento se hidrata, se forma hidróxido de calcio Ca(OH)_2 que es levemente soluble al agua. El hidróxido de calcio se disuelve y transporta a la superficie donde puede reaccionar con el dióxido de carbono disuelto de la atmósfera formando carbonato de calcio insoluble que se precipita de la solución.



En la medida que la superficie de concreto se seca, el carbonato de calcio se queda en la superficie como un residuo que no puede ser lavado con agua, pero que puede ser quitado con un ácido o abrasivo suave. La calcita se precipita en pequeños conjuntos como se muestra en la Figura 1.

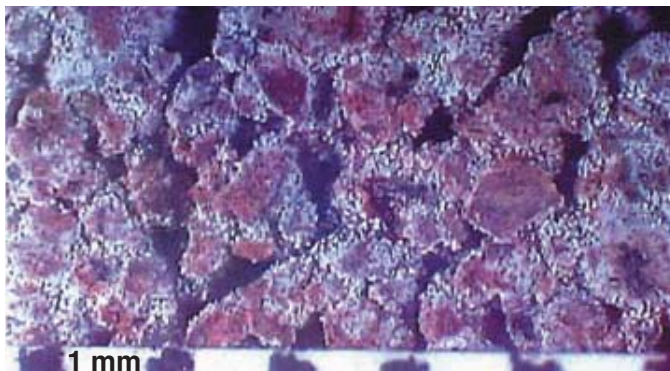


Figura 1: Foto micrográfica de la eflorescencia de calcita en un pavimento rojo.

A pesar de que fue usado como ejemplo el hidróxido de calcio, es posible que la misma reacción que forma carbonato de magnesio se de, pero la misma es rara. El álcali (sulfato y sodio), que está presente inicialmente como sulfato, puede formar carbonatos a través de una secuencia de reacciones similares y precipitarse una vez que la superficie se seque. Los sulfatos alcalinos que se precipitan a la superficie no constituyen normalmente una preocupación ya que son solubles y pueden ser removidos con facilidad con agua.

Evaluación de la eflorescencia

Hay varios métodos analíticos que se usan para evaluar la eflorescencia. Para identificar las sales eflorescentes, se utilizan espectrometría infrarroja y difracción de rayos X. La fenolftaleína (un indicador base ácido) y ácido clorhídrico de baja concentración, son útiles para medir la localización y profundidad de la carbonatación. Se puede utilizar un fotómetro de color para cuantificar el efecto de la eflorescencia cuando aparezca en el

concreto. Otra herramienta de utilidad es la cámara de intemperie, que acelera los efectos de la exposición de la intemperie.

Medida de la eflorescencia

El efecto eflorescente puede ser evaluado usando un fotómetro manual (Figura 2) para medir el color de una muestra en el sistema de color CIELab. En el espacio de color CIELab, cada color es definido por tres parámetros: L^* , a^* y b^* , donde L^* indica la claridad (lightness), la a^* es el eje verde/rojo, y b^* es el eje azul/amarillo.



El fotómetro da una lectura en segundos. Para superficies, planas, lisas, la realización de una medición es suficiente, sin embargo, debido a la naturaleza áspera de la superficie del concreto, las medidas son tomadas generalmente en 3 o 9 lugares y se hace un promedio. Para la evaluación de eflorescencia, el blancuzco o claridad indicada por L^* es la que necesita ser medido. Los valores de L^* comprenden de 0 (negro) a 100 (blanco) y ningún valor de L^* es bueno o malo; es la variación o cambio de un valor referencia o deseado en L^* (ΔL^*), que revelará la eflorescencia.

Ensayo de Exposición Acelerada

Otra herramienta usada en la evaluación del potencial de formación de eflorescencia es una cámara de intemperismo acelerado (figura 3). Una cámara de este tipo permite la aceleración de la intemperie en muestras a temperaturas que van de 40 a 100°C (100 a 230°F), rangos de humedad relativa de 10 a 100% y a dos niveles de exposición de sol, y, con o sin agua rociada. La utilización de una cámara de intemperismo acelerado, permite probar diferentes matrices de mezclas para evaluar el potencial de formación de



Figura 3 - Aparato o acelerador de la resistencia a la intemperie

Pautas recomendadas para control de eflorescencia

eflorescencia para diferentes condiciones ambientales.

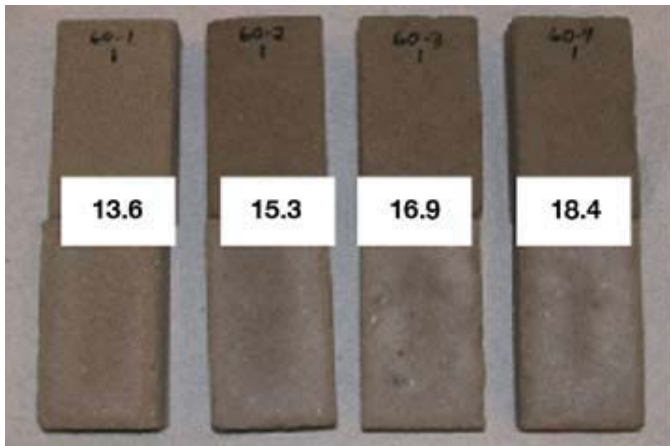
Factores que influyen la eflorescencia

La eflorescencia es afectada por varios factores, incluyendo el contenido de cemento, el contenido de álcalis, el agua de amasado, la relación agua/cemento, el aditivo, las condiciones de curado y la permeabilidad.

Contenido de cemento

La mayor fuente de calcio, y particularmente de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, es el cemento, así que el aumentar la cantidad de cemento tiende a aumentar la eflorescencia. Esto se ilustra en las cuatro mezclas utilizadas en los adoquines (Figura 4) en donde la relación agua/cemento fue mantenida constante a 0.35, mientras que el contenido de cemento se aumentó.

Figura 4. Los adoquines producidos con la misma relación agua/cemento,



pero aumentando el contenido de cemento. El número en cada espécimen representa el porcentaje de cemento en la mezcla. Se observa fácilmente el aumento de eflorescencia con el aumento de cemento en la fila inferior.

Las dos filas de adoquines en la Figura 4, son duplicados, donde la fila superior muestra la superficie expuesta al aire y la inferior muestra la superficie que estaba en el laboratorio, y debido a ello

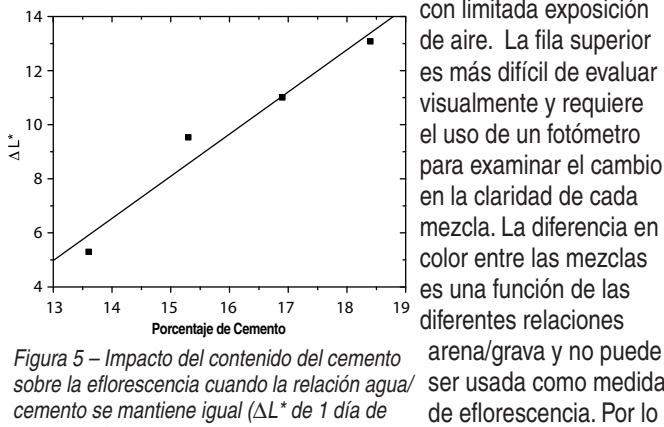


Figura 5 – Impacto del contenido del cemento sobre la eflorescencia cuando la relación agua/cemento se mantiene igual (ΔL^* de 1 día de curado a 7)

con limitada exposición de aire. La fila superior es más difícil de evaluar visualmente y requiere el uso de un fotómetro para examinar el cambio en la claridad de cada mezcla. La diferencia en color entre las mezclas es una función de las diferentes relaciones arena/grava y no puede ser usada como medida de eflorescencia.

tanto, la cantidad de aumento de eflorescencia, se mide el cambio en L^* (ΔL^*), después del curado (Figura 5).

Contenido de álcalis

La asociación de que el elevado contenido de álcalis aumenta la tendencia del concreto a formar eflorescencia, no es nueva. Los valores de álcalis reportados por la mayoría de plantas pulverizadores es álcali total. Sin embargo, como la eflorescencia es el resultado de la migración de las sales solubles, parecería razonable que cualquier correlación sería con álcali soluble y no con álcali total.

En los sistemas cementicios, los únicos elementos Grupo I (conocidos colectivamente como álcalis) presentes en concentraciones significativas, son los iones cargados positivamente de potasio y sodio. Por lo tanto, cuando los álcalis son medidos, el sodio y potasio son dos elementos analizados. Son reportados ya sea como óxidos independientes o combinados, como el equivalente de óxido de sodio, usando la siguiente fórmula:

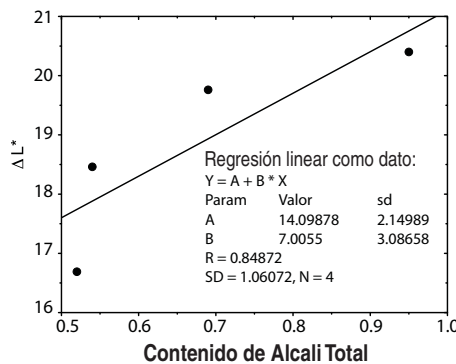
$$\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O equivalente}$$

Los morteros fueron preparados con cementos con contenidos de álcali soluble y total, para examinar la correlación con la eflorescencia. Los cuatro tipos de cementos tenían contenidos de álcali como sigue:

Los cambios en los valores de L^* (ΔL^*), fueron calculados para

Alcalis Total, %	Alcalis Soluble, %
0.95	0.70
0.69	0.59
0.54	0.44
0.52	0.20

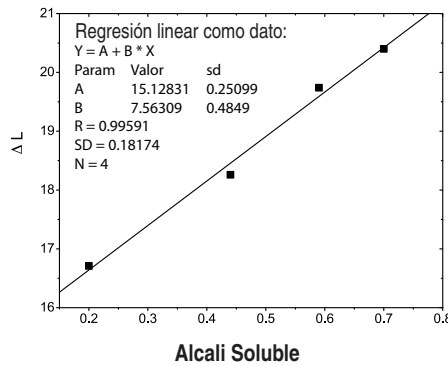
cada muestra, usando el L^* a aproximadamente 5 horas después de curado en la cámara y L^* después de 3 días de curado en condiciones ambientales (Figura 6). Haciendo el cómputo de las medidas de ΔL^* vs. la variación del contenido de álcali total, resulta en una correlación de 0.848; sin embargo, cuando los mismos valores de ΔL^* son calculados vs los contenidos de álcali soluble en agua de cemento, la correlación es excelente (0.996).



Figuras 6 – Efecto del contenido de álcali total y contenido de álcali soluble sobre la eflorescencia

Una forma en que el

Pautas recomendadas para control de eflorescencia



aumento del contenido de álcali contribuye a la eflorescencia, es el efecto común de iones, que afirma que una sal levemente soluble será aún menos soluble, si se agregan a la solución más iones solubles.

El hidróxido de calcio es menos soluble en agua, en todos los

valores de pH, como lo son el hidróxido de sodio y de potasio. Por lo tanto, la adición de más iones solubles hará que el calcio sea aún menos soluble. Asimismo, aún si se forman carbonatos de sodio y de potasio, pueden solubilizarse nuevamente, considerando que, el carbonato de calcio es insoluble al agua y se precipitará de la solución.

Otro factor a considerar, es que el aumento en el contenido de álcali aumenta la solubilidad del dióxido de carbono, haciendo que haya más dióxido de carbono disponible para reaccionar y formar carbonatos. El aumento en la disponibilidad del dióxido de carbono en conjunto con el cambio de equilibrio a favor de la reducción en la concentración de iones de calcio es óptima para la formación de eflorescencia.

Agua de amasado

El agua de amasado es un factor que también puede contribuir con el contenido de álcalis. Se debe hacer ensayos en la calidad del agua para ver si hay presencia de calcio, magnesio, potasio y sodio. La dureza del agua es determinada por el contenido de calcio y magnesio: cuanto más alto sea el contenido de calcio y magnesio, mayor dureza tendrá el agua. Cuando el agua es rebajada por medio de intercambio de iones, cada ion de calcio (y magnesio) es reemplazado por 2 iones de sodio. El sodio añadido puede aumentar el potencial para formar eflorescencia.

Relación agua - cemento

Como la eflorescencia se forma cuando hay humedad disponible, la minimización de la relación de agua - cemento ayuda a reducir el potencial para la formación de eflorescencia. Para ilustrar esto, se prepararon 2 conjuntos de adoquines (Figura 7). Un conjunto de 3, contuvo 13.6% de cemento [un factor de cemento de alrededor 200 kg/m³ (335 lb/yd³)]; el otro conjunto de 3 contuvo 18.3% de cemento [un factor de cemento de alrededor 248 kg/m³ (435 lb/yd³)]. Dentro de cada conjunto, se hicieron pruebas con tres relaciones agua/cemento (0.28, 0.35, y 0.42). Estos dos conjuntos muestran que en la medida que la relación agua cemento aumenta, la eflorescencia aumenta. Como en la Figura 4 en que el contenido del cemento fue aumentado, la claridad de las mezclas individuales no pueden compararse porque está cambiando

independientemente de cualquier eflorescencia –solo la variación ΔL^* dentro de cada mezcla es una medida válida de eflorescencia.

La relación agua - cemento puede ser minimizada optimizando la gradación del agregado y usando aditivos plastificantes que también aumentan la densidad.

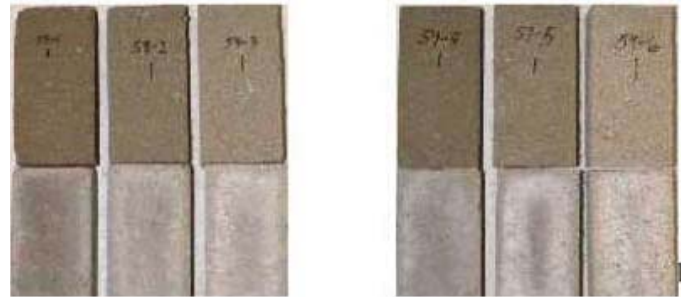


Figura 7 – Las mezclas de los adoquines con 13.6% (izquierda) y 18.3% (derecha) de cemento. La relación agua-cemento son de 0.28, 0.35 y 0.42 yendo de izquierda derecha en cada conjunto. Las series a lo largo en la fila superior muestran las superficies que fueron abiertas al aire durante el secado; los conjuntos en la fila inferior muestran las superficies que estuvieron en los anaqueles del laboratorio durante el secado.

Permeabilidad

Para minimizar la formación de eflorescencia, se debe minimizar también la permeabilidad, para prevenir o retrasando la migración de las sales solubles. El primer paso es usar agregados bien graduados – especialmente evitando un gradado discontinuo. Otro enfoque es aumentar la densidad. Esto puede ser conseguido usando aditivos plastificantes, que no solo aumentan la densidad, pero también aumentan la resistencia, disminuyendo el ciclo de tiempo (en la producción de bloques) y reduce la demanda de agua. Ha sido demostrado que los aditivos bloqueadores de poros disminuyen la permeabilidad al actuar como repelentes de agua y reducen de forma significativamente la absorción de agua. La serie de aditivos plastificantes RHEOMIX® 700, mejora substancialmente la eficiencia del cemento, menor requerimiento de agua y aumento de densidad, todo lo cual reduce la permeabilidad de los productos manufacturados de concreto.

Aditivos

Los aditivos pueden reducir el potencial de formación de eflorescencia y una serie de modalidades. Los aditivos repelentes de agua base Estearato, funcionan como bloqueadores de poros y debido a ello reducen la transmisión de agua. Sin embargo, proporcionan un mínimo de control de eflorescencia.

Los aditivos base emulsión polimérica funcionan como bloqueadores de poros y proporcionan además un mejor control de formación de eflorescencia, y alguna protección al ciclo de congelamiento/descongelamiento. Los materiales y combinaciones específicas usados en los aditivos base emulsión polimérica, varían considerablemente, como se muestra en la Figura 8.

Pautas recomendadas para control de eflorescencia



Figura 8. Dos bloques de concreto cortados longitudinalmente hechos con el mismo diseño de mezcla en lotes consecutivos. Se usó un aditivo tradicional repelente de agua/controlador de eflorescencia, en el bloque de la izquierda, que muestra eflorescencia; mientras que en el lado derecho, se utilizó una combinación polimérica patentada (RHEOPEL® XD), sin eflorescencia.

La tecnología del aditivo patentado, base emulsión polimérica RHEOPEL® proporciona un desempeño superior en la producción de bloques de concreto en comparación con los aditivos convencionales repelentes de agua. Los aditivos RHEOPEL® han sido optimizados para proporcionar la máxima intensidad de color, retención de color, control de eflorescencia, y durabilidad en relación a ciclos de congelamiento/descongelamiento, todo esto, mientras que mantiene las excelentes propiedades de repelencia de agua.

Los aditivos plastificantes base agentes tensoactivos y en base a policarboxilatos, reducen el potencial de formación de eflorescencia al aumentar la densidad, por lo que reducen la permeabilidad y, en algunos casos, al reducir la cantidad de cemento requerida para una resistencia a la compresión dada. Un beneficio adicional, es que los ciclos de producción de productos manufacturados de concreto puede ser reducido con estos materiales. Los aditivos de las series RHEOMIX® 600 y 700 usan una gama de químicos para proporcionar el mejor producto final para una variedad de diseños de mezcla.

A veces, los aditivos acelerantes pueden reducir la tendencia a la formación de eflorescencia. Esto ocurre porque el fraguado acelerado reduce el tiempo disponible para que las sales sean transportadas a la superficie. El cloruro de calcio, un acelerante común, es conocido hace tiempo por sus efectos decolorantes. Sin embargo, actualmente no hay evidencia de que estos aditivos contribuyan a la formación de eflorescencia. Las sales alcalinas (cloruro de sodio, cloruro de potasio), contribuyen a la formación de eflorescencia, en gran parte, debido al contenido alcalino. Como el cemento ya cuenta con abundante contenido de calcio y el hidróxido cálcico es levemente soluble, el uso del cloruro de calcio no tiene un efecto deletéreo en relación a la eflorescencia.

Proceso de curado

El proceso de curado es crítico en la producción de un producto libre de eflorescencia. Un curado húmedo con una buena convección de aire con un rango de temperatura estable, brindará el mejor producto final. La convección adecuada de aire es importante en la mantención de una apariencia superficial homogénea. Un patrón común de eflorescencia es conocido como enmarcado (Picture framing) Figura 9. Esto ocurre cuando los bloques son apilados (a veces con una fina camada de arena de sílice entre los

bloques individuales). Alrededor de los bordes, se da una buena convección y en el centro el producto se mantiene húmedo hasta el curado final, por lo que estas dos áreas no muestran eflorescencia. Sin embargo, en las áreas en el medio hay ciclos de mojado/seco que permiten la formación de eflorescencia.



Figura 9. El bloque de concreto que muestra el fenómeno de eflorescencia conocido como enmarcado. El proporcionar una adecuada convección durante el proceso de curado puede prevenir esto. La eflorescencia está compuesta de carbonato de calcio.

Otro factor clave es el control de la temperatura durante el curado. La eflorescencia aparece normalmente durante la primavera y otoño cuando hay grandes fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche. Especialmente cuando los bloques son cubiertos con láminas de plástico, se forma condensación de agua (rocío) cuando la temperatura baja, la que se deposita en la superficie del bloque permitiendo que las sales se transporten a la superficie. En la medida que la temperatura sube, el agua se evapora dejando una película relativamente densa de eflorescencia (Figura 10). Este fenómeno se agrava por el hecho de que la solubilidad del hidróxido de calcio en el agua disminuye con el aumento de temperatura.

Otra estrategia que ha mostrado resultados minimizando la eflorescencia, es la introducción temprana del dióxido de carbono de la atmósfera, en el proceso de curado. Esto promueve la carbonatación de la superficie al inicio del proceso de curado, con lo cual, generalmente, no deja residuos visibles.

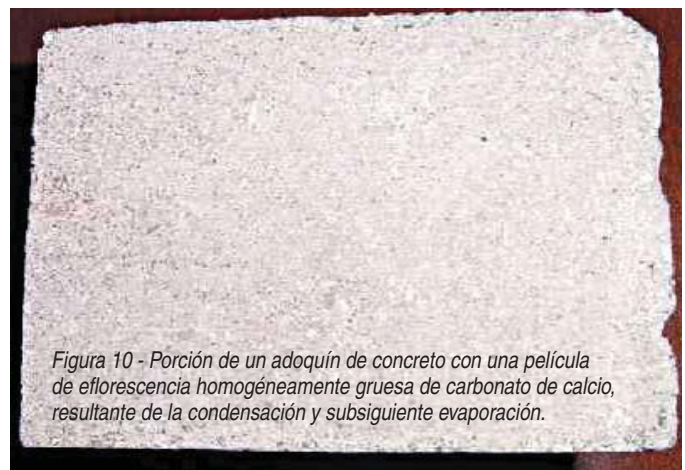


Figura 10 - Porción de un adoquín de concreto con una película de eflorescencia homogéneamente gruesa de carbonato de calcio, resultante de la condensación y subsiguiente evaporación.

Pautas recomendadas para control de eflorescencia

Eliminación de la eflorescencia

La eflorescencia a menudo se disipa con el tiempo, sin embargo, se puede remover. Las sales sodio y potasio pueden ser removidas fácilmente con un cepillo duro, o si fuera necesario, cepillado con agua. Si esto no resulta, se recomienda cepillado con un ácido diluido como muriático o sulfámico.

Si el concreto de color, se recomienda usar un rango de concentración de 5 a 10%. Una concentración superior puede afectar el color. Una Buena referencia para construcción en mampostería es el *Concrete Masonry Handbook* publicado por la Asociación de Cemento Portland (PCA).

Control de eflorescencia

Eflorescencia primaria

Para minimizar el potencial de formación de eflorescencia primaria, es necesario determinar los factores claves involucrados y cómo el diseño de mezcla o las condiciones de curado deben ser ajustadas. Como se discutió en este informe, los factores claves incluyen el uso de aditivos, contenido de cemento, relación agua-cemento, contenido de álcalis, condiciones de curado y permeabilidad.

- Optimización del diseño de mezcla
 - Cemento – muy poco conlleva baja densidad y alta permeabilidad; demasiado, aumenta las sales solubles disponibles como asimismo el costo
 - Agua – suficiente para hidratar el cemento solamente
 - Agregados – una gradación adecuada baja la permeabilidad y produce un mejor desempeño general
- Use cementos con bajo contenido de álcali soluble
- Use agua desionizada (no ablandada por intercambio de iones)
- Use aditivos químicos adecuados
 - Plastificantes para aumentar la densidad y resistencia, bajar la permeabilidad y la demanda de agua
 - Aditivos repelentes de agua / controladores de eflorescencia para reducirla infiltración, absorción del agua y la decoloración
- Aumentar la densidad y disminuir la permeabilidad a través de una buena compactación mecánica
- Seguir buenas prácticas de curado
 - Curado en húmedo
 - Temperatura pareja
 - Convección adecuada
- Proteger el concreto de fuentes externas de agua (lluvia) lo más que se pueda
- Use selladores aplicados posteriormente si fuera necesario

Eflorescencia secundaria

La mejor forma de prevenir la eflorescencia secundaria – en el caso de los productos de concreto, es el control de la penetración de

agua, produciendo productos de baja permeabilidad.

La aplicación de buenas prácticas de construcción son esenciales en la prevención de eflorescencia secundaria. Factores que deben ser considerados, incluyen:

- El mortero debe contener aditivos repelentes al agua y la junta del mortero debe ser bien rellenada, creando una cohesión entre el mortero y la unidad de mampostería.
- Se debe instalar un buen drenaje, incluyendo botaguas, barbacanas, y juntas de estanqueidad
- Las unidades de mampostería deben ser almacenados cubiertos en un área bien drenada de la obra
- Durante la construcción, las paredes deben ser cubiertas para prevenir que la lluvia entre en las secciones centrales
- Programe la instalación de techado y aspersores para minimizar la exposición de las paredes a agua de fuentes externas

Síntesis

No se puede prevenir la eflorescencia, pero siguiendo la guía proporcionada en este boletín puede ayudar a minimizarla. En particular, el uso de aditivos plastificantes como la serie RHEOMIX® y del aditivo RHEOPEL® pueden reducir significativamente el potencial de eflorescencia en los productos manufacturados de concreto.

Para información adicional

Para obtener información adicional o apoyo, contacte a su representante local de ventas BASF.

BASF Construction Chemicals, es el proveedor líder de aditivos innovadores, en la especialidad de concreto para ser usados en, premezclados, prefabricados y en productos manufacturados de concreto, construcción subterránea y pavimentos. Se usa la reconocida línea de productos Master Builders para mejorar la colocación, bombeo, acabado, apariencia y características de desempeño del concreto.

BASF Construction Chemicals

Latinoamérica Norte

México - Av. Insurgentes sur 975, México

Tel: (55) 5325 5643 – www.basf-cc.com.mx

Costa Rica Parque Industrial Zeta de Alajuela, Alajuela

Tel: 506-2440-9110 – www.centroamerica.basf-cc.com

Panamá Calle 50 Torre Global Park, Piso 12, Of. 12-04, San Francisco

Tel: 507-300-1360 - www.centroamerica.basf-cc.com

Puerto Rico y el Caribe Carr. 183 Km. 1.7 Caguas, Bo. Tomas de Castro, Puerto Rico

Tel: 1 787-258 2737 - www.caribbean.basf-cc.com

Rep. Dominicana Gustavo Mejía Ricard # 11, Ed. Rogama, 3er piso, Sto Domingo

Tel: 809 334-1026 - www.basf-cc.com.do