



CONCRETO ACELERANTES PARA CONCRETO LANZADO

CONSTRUYENDO CONFIANZA





CONTENIDO

- 5** Acelerantes para el concreto lanzado

- 6** Acelerantes que incluyen álcalis (aluminatos)

- 8** Acelerantes con base en silicatos

- 9** Acelerantes líquidos libres de álcali

- 12** Mitos y leyendas sobre sistemas acelerados en concreto lanzado



ACELERANTES PARA EL CONCRETO LANZADO

Desde 1907 año de la invención del concreto lanzado hasta nuestros días esta tecnología, ha sufrido avances muy sensibles. Uno de los más importantes se constituye sin duda, en el desarrollo de sustancias que hacen posible el fraguado instantáneo de la pasta de cemento, componente fundamental del mortero o del concreto.

El interés por acelerar el mortero (gunita) o concreto lanzado está directamente relacionado con la necesidad de que el material no se escurra sobre una superficie vertical, ni se desprenda cuando es lanzado "sobre cabeza". El mortero o concreto lanzado tiende a caer por su propio peso o como física reacción al impacto con la superficie sobre la que es aplicado. El acelerar el lanzado permite que éste no escurra por gravedad, mientras que la naturaleza viscosa (pegajosa) otorgada por los acelerantes hace que su rebote sea mínimo. El fenómeno de escurrimiento es amplificado en general por la naturaleza en extremo líquido, de un material que ha tenido que ser transportado dentro de mangueras de secciones cada vez más pequeñas. Así de manera paradójica requerimos un concreto o mortero en extremo líquido que pueda ser impulsado con facilidad por un espacio muy pequeño y restringido, pero luego de salir por la boquilla y estrellarse contra una superficie no debe resbalar ni desprenderse. Como vemos esto sería casi imposible si no contásemos con la ayuda de la ciencia química que nos permite inyectarle al fluido un acelerante instantáneo justo antes de que salga "disparado" por el aire. De este modo al estrellarse con el soporte permanece sobre él.

La posibilidad de rigidizar la pasta de cemento a los pocos segundos de entrar en contacto con los acelerantes instantáneos, hace que el material ya colocado permanezca adherido sobre la superficie y pueda incluso recibir sobre sí mismo más material lanzado aumentando el espesor hasta varios centímetros sin caer o resbalar.

¿CÓMO ES POSIBLE QUE EL PROCESO DE FRAGUADO QUE TOMA HORAS (ENTRE 2 Y 18 HORAS) TENGA LUGAR EN MENOS DE 6 MINUTOS?

Recordemos que el cemento portland (conjunto de cristales) está compuesto por Clinker y Yeso. El Clinker es el mineral artificial compuesto en su gran mayoría por cristales de Calcio, Sílice y Aluminio (con otras "impurezas" como Fe, Na, K, Mg etc.), agregamos el yeso a este conjunto de cristales para retardar el fraguado y tener el tiempo suficiente para moldear la pasta de cemento. De lo contrario el Clinker fraguaría en menos de 15 minutos (Flash setting)¹.

Muchos aditivos acelerantes instantáneos se concentraron en los inicios de esta tecnología en anular el efecto del yeso,

combinándose químicamente con él o rodeando dicho compuesto. Sin embargo este camino no fue suficiente por lo que fue necesario ensayar nuevos compuestos que actuaran tanto sobre la hidratación del Aluminato tricálcico (C_3A) como sobre los Silicatos (C_3S , C_2S). Estos anhídros o cristales son los principales componentes del Clinker y cada uno de ellos puede "despertarse" químicamente de diferentes formas.

Los aditivos acelerantes actuales se agregan al concreto lanzado como porcentaje del peso del cemento, en un rango aproximado del 2% al 14%. Esto implica cantidades de 8 hasta 56 kg/m³.

La naturaleza de los aditivos acelerantes para concreto lanzado es amplia y variada. De hecho existen aditivos acelerantes de fraguado que más que acelerar la reacción de los cristales anhídros tiene un efecto sobre la reología de la pasta transformando una pasta de cemento de naturaleza fluida, en una gelatina (tixotrópica y viscosa) que sin ser rígida simplemente no resbala. Igualmente existen aditivos acelerantes instantáneos en estado líquido o sólido (polvo). De cualquier forma o naturaleza estas sustancias son ampliamente usados en la mayor parte de las aplicaciones de concreto y morteros lanzados.

LOS OBJETIVOS FUNDAMENTALES PARA USAR ACELERANTES DE FRAGUADO SON:

- Alcanzar el máximo espesor incrementando la rigidez temprana, lo que aumenta la productividad reduciendo el número de pasadas.
- Reducir el desprendimiento y escurrimiento del concreto, mejorando la seguridad bajo la excavación.
- Acelerar el proceso de hidratación y por lo tanto incrementar el desarrollo de resistencias tempranas.
- Permitir que el concreto sea aplicado sobre superficies húmedas reduciendo filtraciones.

El presente documento revisa las principales tecnologías o tipos de acelerantes instantáneos para concreto lanzado. Alrededor de su uso existen controversias que oscilan entre la mejor opción económica, la más segura desde el punto de seguridad industrial, la de mejor desempeño, lo que hace muchas veces la escogencia de una alternativa dada se convierta en cierta complejidad.

Existe una primera clasificación de los acelerantes en aquellos libres de álcali y aquellos que contienen álcalis. Al hablar de álcalis nos referimos a los iones de Sodio (Na) y Potasio (K) acompañados casi siempre por moléculas OH.

ACELERANTES QUE INCLUYEN ÁLCALIS (ALUMINATOS)

A lo largo de la línea de evolución de los acelerantes instantáneos aparecen de manera temprana los acelerantes que incluyen álcalis. Estas sustancias cuentan en su composición con cantidades altas de compuestos de aluminio y álcalis (sodio o potasio) lo que les confiere un pH muy alto, superior en la mayoría de los casos a 11.

Si bien los aluminatos son una alternativa económica, puesto que para alcanzar los tiempos de fraguado requeridos en campo se logran con dosis reducidas (comparados con otros acelerantes) y su precio por kg es relativamente bajo, resulta evidente que implican un riesgo en cuanto a la salud ocupacional.

Un líquido con un pH mayor a 11 al entrar en contacto con la piel, podría producir una quemadura si no es lavado de inmediato con agua. Esto es válido tanto para el contacto directo (con piel y ojos) como para las aspersiones. Una tenue aspersión de estos acelerantes afectan negativamente la respiración, el tejido interno y en general cualquier mucosa expuesta.

Algunos países luego de presentarse incidentes de este tipo, decidieron proscribir el uso de estos compuestos, mientras que en otras regiones prefirieron continuar su uso, pero extremando las medidas y exigencias de seguridad cuando se emplean.

Los aluminatos son tecnología antigua menos segura que otros acelerantes pero continúan usándose, debido a su alta relación desempeño/costo.

El efecto químico de los aluminatos solubles, es que estos van a reemplazar el balance entre el yeso (CaSO_4) y el C_3A . El yeso normalmente genera una capa protectora del C_3A constituida por etringita (figura 1).

Los aditivos con base en aluminatos se combinan entonces, con el yeso, dejando así al anhidro C_3A sin la capa protectora y por lo tanto permitiendo al C_3A hidratarse, formando lo que se conoce como un flash setting (figura 2). El efecto del aluminato aparece en las siguientes figuras:

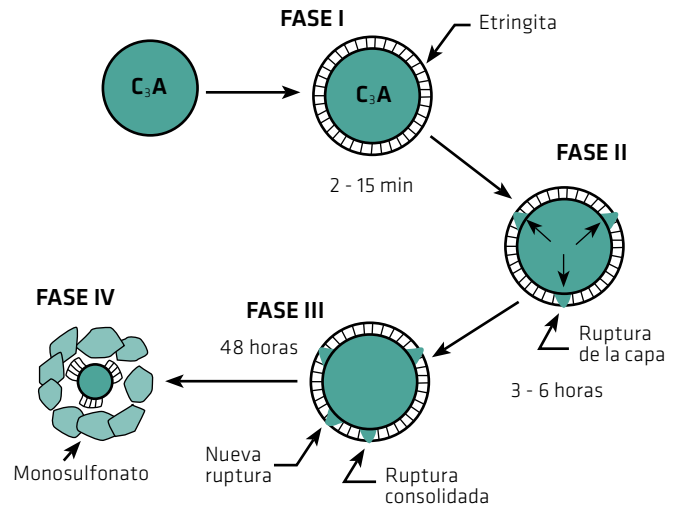


Figura 1. Proceso de fraguado normal, sin aluminato.

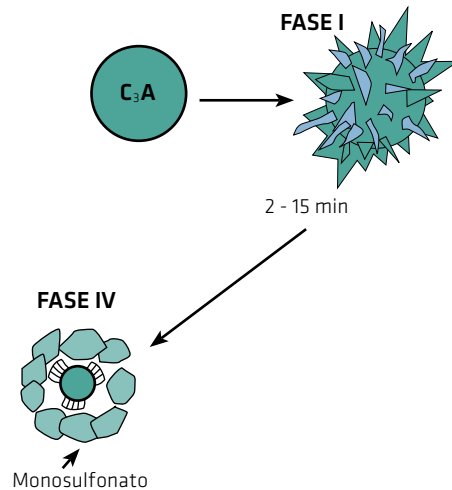


Figura 2. Proceso de fraguado con acelerante con base en aluminatos.

De esta forma el aluminato inhibe la formación de etringita provocando así el fraguado instantáneo del C_3A que no está recubierto o sellado.

Estos acelerantes alcanzan un desarrollo razonable de resistencia temprana, pero en ciertas ocasiones afectan negativamente la resistencia final del concreto, frente a la resistencia final alcanzada por el mismo concreto sin acelerante.

Un concreto lanzado de cualquier forma así tenga su resistencia final disminuida frente a un concreto patrón continúa hidratándose y aumentando su resistencia en el tiempo como lo muestra la figura 3.

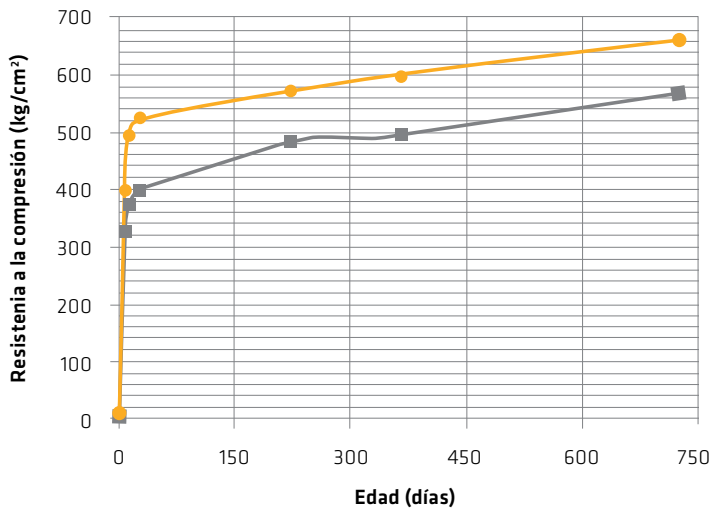


Figura 3. Evolución de la resistencia de un concreto lanzado a dos años con 3% de Sigunit L 22 (Aluminato).

En general las ventajas y desventajas de los aluminatos son:

Ventajas

- Altísima eficiencia (excelentes tiempos de aceleración a muy bajas dosis).
- Bajo costo por kg.
- Excelente comportamiento frente a condiciones extremas de temperatura o presencia de agua.
- Mayor estabilidad en el almacenamiento.

Desventajas

- Alto "decremento" en las resistencias finales. (> 20 %).
- Muy sensibles al tipo de cemento, no trabaja igual con cada tipo de cemento, la reactividad del cemento debe ser evaluada antes de comenzar el lanzado.
- Altos pH (> 13) y por lo tanto agresivo con piel, ojos, etc.

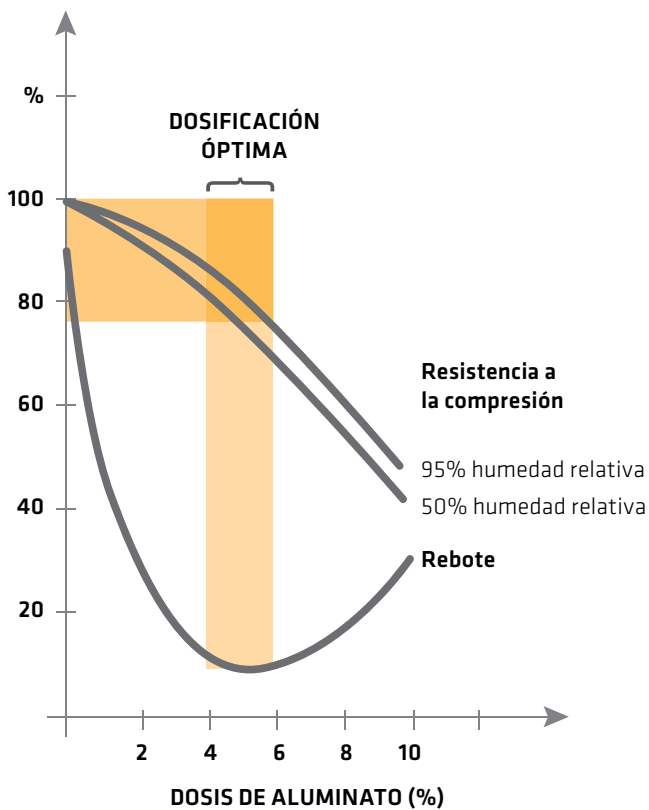


Figura 4. Afectación usual de la resistencia del concreto y efecto del rebote en concreto lanzado para dosis variables de un aditivo con base en aluminatos.

Los aluminatos continúan siendo una opción para acelerar el concreto o el mortero proyectado y pueden ser usados con las precauciones debidas en cuanto a la seguridad de los usuarios.

ACELERANTES CON BASE EN SILICATOS

Los acelerantes con base en silicato, más conocido como vidrio en agua representa el clásico acelerante de bajo costo. Este compuesto cuando entra en contacto con la pasta de cemento, reacciona con el calcio insoluble de la pasta de cemento, produciéndose el “fraguado” del concreto rápidamente. Esta reacción solamente puede lograrse con altas cantidades de solución de silicato (8% al 15 % del contenido de cemento), esta reacción puede causar una reducción de hasta un 50 % de las resistencias del concreto a 28 días, comparado con un concreto no acelerado (Figura 5).

En realidad los acelerantes con base en silicatos no afectan realmente el fraguado tal y como lo definimos con agujas de Vicat o Gillmore. No afectan el fraguado porque no reaccionan con los compuestos de aluminio responsables de esta primera fase de hidratación. Los silicatos aumentan la viscosidad del concreto hasta convertirlo en una especie de gel que no se desprende, sin desarrollar tempranamente resistencias en los órdenes de magnitud usuales durante el proceso de fraguado.

Los silicatos en solución hoy en día no están muy bien vistos en concreto lanzado, debido a que afectan las resistencias finales y otorgan un falso sentido de seguridad. Los silicatos en realidad cambian la reología de la pasta de cemento haciéndola gelatinosa y no rígida. Esta consistencia le permite no resbalar pero, como se mencionó atrás, durante los primeros minutos no ofrecen una resistencia que pueda ser medida ni siquiera con las agujas tradicionales.

Los silicatos más frecuentes son los de sodio modificados que otorgan momentáneamente un efecto aglutinante (< de 10 segundos) a la mezcla de concreto lanzado (pierde asentamiento) sin tomar parte real en el proceso de hidratación, como lo hacen los otros acelerantes basados en aluminatos o libres de álcali.

Los silicatos de sodio modificados fijan el agua de la mezcla. Por consiguiente la dosificación depende de la relación agua/cemento, una alta relación agua cemento requiere de una alta cantidad de silicato para fijar así el agua de la mezcla.

Los silicatos de sodio modificados no generan altas resistencias dentro de las primeras 2 a 4 horas, por lo tanto la capa de concreto lanzado está limitada a máximo 8 a 15 cm. Los silicatos incluidos en el concreto lanzado pueden ser posteriormente lavados en el interior del concreto endurecido, o lixiviados. Estos compuestos diluidos en el agua son así extraídos del concreto y llegan a los sistemas de drenaje de los túneles.

Este último aspecto genera aún más problemas en estos sistemas de evacuación de agua, los cuales rápidamente se taponan por la acción de dicho lixiviado. La durabilidad también puede ser un problema por las grandes cantidades de iones de álcalis que introduce el acelerante, así y el riesgo de una reacción álcali-agregado aumenta en este concreto lanzado.

Los acelerantes con base en silicatos han encontrado aplicaciones en otros campos de la construcción como el relleno tras-dos de excavaciones hechas con TBM y otros tipos de relleno.

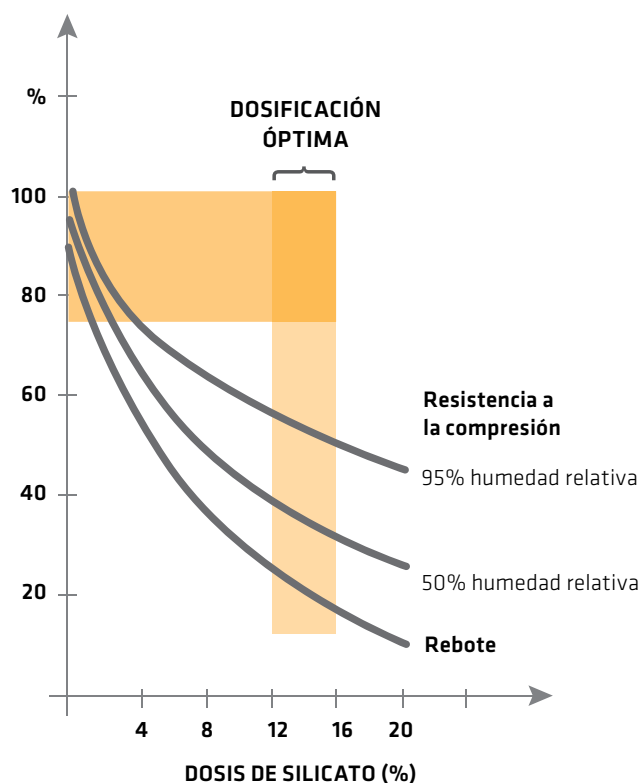


Figura 5. Afectación usual de la resistencia del concreto y efecto del rebote en concreto lanzado para dosis variables de un aditivo con base en silicatos.

ACELERANTES LÍQUIDOS LIBRES DE ÁLCALI

Los acelerantes líquidos libres de álcali se han convertido en norma en aplicaciones exigentes de concreto lanzado en todo el mundo, debido a la seguridad y facilidad de su uso y aplicación. Seguridad en lo que se relaciona con el medio ambiente, la salud y la seguridad industrial. Esta tecnología, basada en soluciones acuosas o suspensiones de compuestos de sulfato de aluminio, resulta fácil de manejar, durante su transporte, manipulación y aplicación. Así mismo aseguran un buen desarrollo de resistencia temprana combinada con algunas características benéficas para los usuarios del concreto proyectado, como la disminución del rebote.

Los acelerantes libres de álcali pueden fabricarse tanto líquidos como en polvo.

Con respecto a la expresión “libre de álcalis”, es necesario distinguir entre dos aspectos químicos y el efecto del producto en las propiedades del concreto lanzado a partir de éstos:

ALCALINIDAD (COMO SINÓNIMO DE BASES)

El grado base o valor pH de estos acelerantes es bajo, generalmente tienen un pH 3.0. Esto frente a los acelerantes alcalinos los hace más seguros, pues los tejidos humanos son más vulnerables a los líquidos altamente alcalinos que a los ácidos débiles. El pH de los acelerantes libres de álcalis está en el rango de los ácidos débiles, es decir, asemeja al de las bebidas gaseosas como la Coca-Cola y los jugos de frutas (pH 2.4 – 3.0).

CONTENIDO DE IONES DE ÁLCALIS

El contenido de iones álcalis, como el sodio y el potasio, en los acelerantes tradicionales (aluminatos) puede afectar las propiedades del concreto. Al aumentar el contenido alcalino, la resistencia final del concreto lanzado se reduce, al igual que posibles implicaciones sobre su durabilidad. En el caso de los aditivos sin la presencia de estos compuestos, se evitan justamente las amenazas que en ciertos casos estos implican.

LA QUÍMICA DEL CONCRETO LANZADO ACELERADO LIBRE DE ÁLCALIS

El concreto lanzado tiene ciertos requisitos para su aplicación: mientras que el concreto se encuentra en estado fresco necesita de una altísima trabajabilidad, en cuanto a sus parámetros de asentamiento y bombeabilidad. Las propiedades del concreto luego de proyectado son totalmente inversas. El concreto una vez lanzado requiere alcanzar una rigidización inmediata, para permitir la aplicación posterior de capas sucesivas y lograr así un espesor mínimo de modo que no se desprenda bajo su propio peso. Cualquier retardo en la hidratación del cemento podría producir un colapso o desprendimiento de la capa de concreto lanzado. Esta caída no solo podría deberse a su propio peso sino también debido a otros efectos secunda-

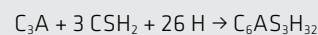
rios tales como la infiltración de agua, o vibraciones generadas por las explosiones de avance.

Las propiedades más importantes del concreto lanzado acelerado, como son el fraguado y endurecimiento temprano, se logran gracias a dos reacciones químicas principales inducidas por los acelerantes libres de álcalis (estos basados en sulfatos e hidrosulfatos de aluminio). Aunque estas reacciones ocurren principalmente en serie, es decir una tras otra, de todas formas tiene lugar un traslapeo así como una interferencia química entre ellas.

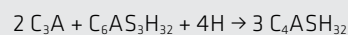
Estas dos principales reacciones se conocen como: la reacción de los aluminatos del cemento (C_3A) y la reacción de los silicatos (C_3S y C_2S), ambas son modificadas por los acelerantes libres de álcalis.

De esta forma los procesos de fraguado del cemento pueden ser descritos como la reacción de aluminato tricalcico (C_3A) con agua y yeso para formar etringita, y luego una reacción de hidratación lenta de los silicatos de calcio (C_3S y C_2S) para formar silicato de calcio hidratado (C-S-H). Es decir los fraguados del cemento dependen principalmente de los cristales que contienen aluminio y en segunda instancia de los que contienen silicio.

En resumen las dos reacciones que controlan principalmente el fraguado en el cemento son:

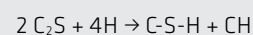
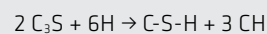


(Etringita, trisulfoaluminato)



(monosulfoaluminato)

Por otro lado el desarrollo de la resistencia en el concreto, resulta fundamentalmente de la hidratación de las fases silicato tricalcico y di cálcico, los cuales forman el silicato de calcio tipo gel hidratado o C-S-H, así.



Los acelerantes para lanzado deben actuar sobre cada una de estas reacciones para poder cumplir con las especificaciones de fraguado así como las de resistencia a mediana y larga edad (figura 6).

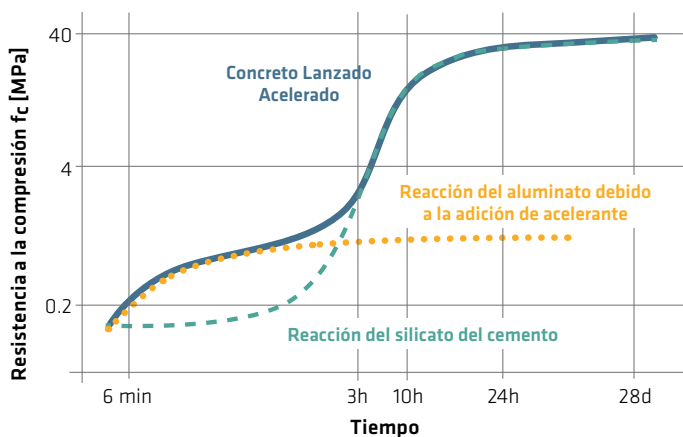


Figura 6. Superposición de las hidrataciones del aluminio y el silicio presentes en la pasta de cemento.

REACCIÓN DE LOS ALUMINATOS DEL CEMENTO CON LOS ACELERANTES LIBRES DE ÁLCALIS

Inicialmente, cuando el acelerante se mezcla al concreto justo en la boquilla de salida de la manguera, tiene lugar una formación masiva de etringita. La etringita es justamente uno de los primeros hidratos que aparecen en la hidratación del cemento y está compuesta por Calcio, Azufre, Agua y Aluminio. Esta precipitación de etringita, que se inicia de manera inmediata se prolonga aproximadamente una hora, formando una matriz inicial sólida lo suficientemente fuerte como para permitir la aplicación del concreto lanzado. Sin embargo, por razones químicas así como técnicas, la resistencia máxima a la compresión obtenida como resultado de esta reacción primaria usualmente no sobrepasa los 1.0 a 1.5 MPa.

En el caso particular de los aditivos libres de álcali, los compuestos de azufre son mucho más reactivos (que los contenidos en el yeso). Existe entonces un doble efecto en estos acelerantes provenientes tanto del aluminio como del sulfato, que permiten altas resistencias iniciales como finales, esta variedad de aditivos son los que menos afectan la resistencia final frente a un concreto no acelerado.

Debido a que el concreto lanzado requiere una mayor evolución en resistencia para enfrentar con éxito las sollicitaciones originadas en las cargas de convergencia del túnel o en el ingreso de agua, es necesario que después de la ganancia inicial de resistencia ocurra otro proceso de ganancia con hidratación de silicatos como reacción secundaria.

REACCIÓN DE LOS SILICATOS DEL CEMENTO CON LOS ACELERANTES LIBRES DE ÁLCALIS

En el concreto lanzado con frecuencia se emplean desafortunadamente agentes retardantes para lograr prolongar la tra-

bajabilidad del material en el tiempo (no perder asentamiento). Sin embargo, una vez aplicado el retardante a la mezcla, el retraso en la reacción de hidratación de los silicatos (C_2S y C_3S) puede afectar adversamente el desempeño del concreto lanzado. Por esto es necesario que los acelerantes sean capaces de anular este efecto de retardo. De esta forma el efecto que deben producir los acelerantes en este caso libres de álcalis, se concentra en eliminar el retardo inicial, lo cual promueve la rápida reacción de los silicatos, comparada con el concreto fresco, sin aditivos.

La figura 7 expone el resultado sobre la hidratación en términos de resistencia a la compresión, del uso de dos dosis diferentes de un acelerante libre de álcalis. Los valores de resistencia fueron obtenidos mediante ultrasonido con el dispositivo Minishot, desarrollado por Sika. A través de esta tecnología es posible observar en continuo la hidratación usando una sola técnica por lo que es posible determinar la evolución de la pasta de cemento desde los primeros segundos de lanza hasta hasta más allá de las 24 horas.

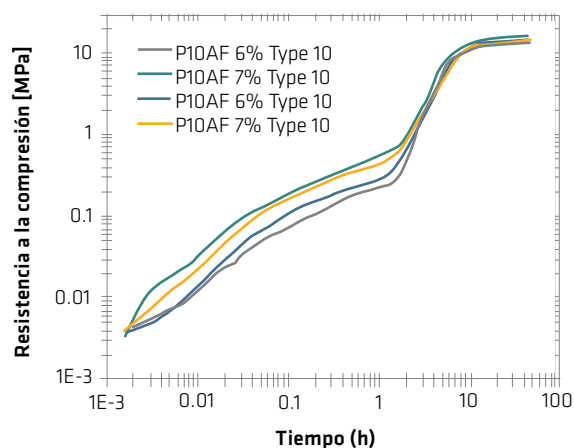


Figura 7. Evolución de la resistencia a la compresión de dos pastas de cemento con igual A/C, y dosis del 6% y del 7%, del peso del cemento, evaluada con ultrasónico con el Minishot.

Los acelerantes de concreto lanzado libres de álcalis ofrecen mayor seguridad industrial y física en muchas áreas:

■ Trabajo seguro

Debido a su valor de pH de aproximadamente 3, no se producen vapores de agua cáusticos, ni aerosoles cáusticos en el aire del túnel y por lo tanto no hay lesiones en piel, membranas mucosas y ojos (figura 8).

■ Medio ambiente seguro

Con los acelerantes libres de álcalis, no se descargan sustancias altamente alcalinas al suelo y al agua de los drenajes.

■ Manejo seguro

Los acelerantes de concreto lanzado libres de álcalis no constituyen un peligro para el transporte, el almacenamiento, la decantación y la dosificación. El uso de los acelerantes de concreto lanzado libres de álcalis minimiza los efectos negativos sobre el endurecimiento del concreto, que generan otras tecnologías, y mejora su compactación y por lo tanto su durabilidad.

■ Deshechos seguros

Los acelerantes de concreto lanzado libres de álcalis no introducen ningún álcali soluble en el concreto, lo que reduce grandemente el riesgo de infiltración en drenajes.

- Los acelerantes se definen como libres de álcalis si el contenido equivalente de álcalis en el peso del acelerante es $\leq 1\%$.

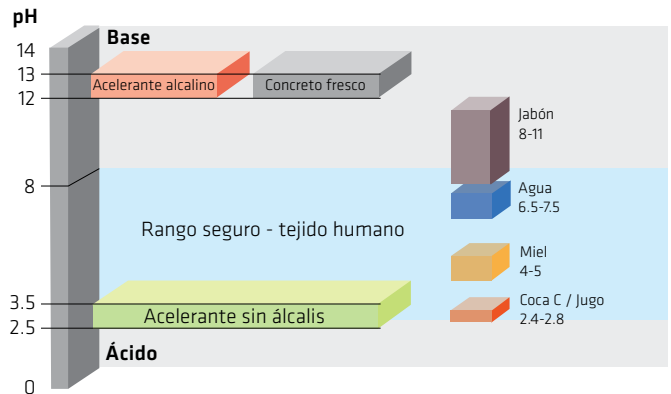


Figura 8. Escala de pH (potencial de hidrógeno) para diferentes aditivos acelerantes y otras sustancias. La franja azul define la zona segura para la piel humana.

Tabla 1. Tipos de Acelerantes y principales propiedades

De la tabla 1 se desprende que los acelerantes de concreto lanzado libres de álcalis son los más adecuados para obtener un concreto lanzado seguro y durable. Sin embargo cada aplicación determina la solución más eficiente en términos de sistema de aceleración.

PROPIEDADES	TIPO DE ACELERANTE		
	Alcalino Basado en aluminatos	Alcalino Basado en silicatos	Sin álcalis
Rango de la dosis	3 - 6 %	12 - 15 %	4 - 10%
pH	13 - 14	12 - 13	2 - 4%
Equivalente a Na ₂ O	20 %	12 %	<1%
Resistencia muy temprana a la misma dosis	++++	++++	++
Resistencia Final	+	--	+++
Estanqueidad (impermeabilidad)	++	--	+++
Comportamiento de lixiviación	---	--	-
Salud ocupacional	---	-	+++
Salud ocupacional y del transporte	--	-	+++
	+ mejora	- deterioro	

TIPO	PRODUCTO	USO / EFECTO	COMENTARIOS
Acelerante líquido libre de álcalis para el concreto lanzado [shotcrete]	Sigunit®-L AF	<ul style="list-style-type: none"> ■ Estabilización de cabezal en construcción de túneles ■ Estabilización de roca y talud ■ Revestimiento de concreto lanzado de alta calidad ■ Alto grado de resistencia temprana ■ Mayor impermeabilización ■ Menor cantidad de eluido ■ Mejor salud y seguridad industrial 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Para proceso de lanzado seco o húmedo ■ Poca reducción final de resistencia comparado con el concreto no acelerado original ■ No es compatible con los acelerantes alcalinos ■ Las piezas metálicas que están en contacto con este acelerante deben ser de acero inoxidable
Polvo acelerante sin álcalis p/el concreto lanzado	Sigunit®-AF		
Líquido acelerante alcalino para el concreto lanzado	Sigunit®-L	<ul style="list-style-type: none"> ■ Estabilización de cabezal en construcción de túneles ■ Estabilización de roca y talud ■ Alto grado de resistencia temprana ■ Menor rebote 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Para proceso de lanzado seco o húmedo ■ Reducción final resistencia comp. con el concreto no acelerado original ■ Agresivo para los tejidos humanos
Polvo acelerante alcalino para el concreto lanzado	Sigunit®	<ul style="list-style-type: none"> ■ Puede lanzarse sobre sustrato húmedo 	

Tabla 2. Tipos de Sigunit y sus principales usos

La Tabla 1 expone un resumen de las características de los diferentes tipos de tecnologías de aceleración en la actualidad usadas en el concreto lanzado. Así mismo la Tabla 2 enumera los diferentes nombres empleados comercialmente en cada uno de los casos.

MITOS Y LEYENDAS SOBRE SISTEMAS ACELERADOS EN CONCRETO LANZADO

COMPATIBILIDAD CEMENTO/ADITIVO

Resulta usual que en las especificaciones de los proyectos en el capítulo de Concreto Lanzado, se pidan ensayos de laboratorio antes de que inicie el proceso mismo de proyectado en obra. Estos ensayos se concentran en general sobre pastas de cemento aceleradas (Agua+Cemento+ Acelerante). Los ensayos tienen como propósito fundamental el calificar la compatibilidad cementante/acelerante.

Los ensayos usuales sobre las pastas aceleradas son ensayos de fraguado por punzonamiento y de resistencia a la compresión. El ensayo de fraguado emplea en algunas ocasiones las agujas Gillmore (ASTM C 1398) y en otros la aguja de Vicat (ASTM C 191). Debido a que la aguja de Vicat resulta más frecuente en los laboratorios de ensayo, la mayor parte de las especificaciones emplean la aguja de Vicat, pero con una relación A/C constante y bajo condiciones de temperatura dadas. Incluso algunas especificaciones definen el fraguado inicial no a 25 mm de penetración sino a 35 mm. El fraguado final si continua siendo el momento para el cual la aguja solo deja una huella sobre la superficie de la pasta.

El procedimiento de mezclado en estos métodos que aparecen en las especificaciones, también es descrito en tiempos y cantidades. Sin embargo estos procedimientos cometen errores al describir por ejemplo el mezclado de una pasta de cemento con un acelerante con base en aluminatos. Esto debido a que la metodología usual pide que dentro del recipiente de mezclado de la pasta se adicione primero el agua, luego el aditivo y posteriormente el cemento. Esto es posible con un acelerante libre de álcali, pero con un aluminato, al adicionarlo directamente al agua empieza a descomponerse y no actúa adecuadamente. El aluminato en este tipo de pruebas debe adicionarse una vez el agua y el cementante están ya mezclados. El mezclado se hace manualmente durante pocos segundos (30-45 segundos usualmente) y luego se inicia la prueba de penetración con el agua de Vicat.

Valores usuales de este tipo de especificaciones aparecen en la tabla siguiente:

A/C	FRAGUADO INICIAL		FRAGUADO FINAL
	25 mm	35 mm	0 mm
0.45	70 seg	80 seg	120 seg
0.40	180 seg		720 seg
0.35	90 seg		115 seg

Tabla 3. Especificaciones usuales para demostrar compatibilidad Cementante/Acelerante.

La relación agua/cemento bajo estas condiciones de mezclado (manual) tiene una influencia muy relevante sobre los tiempos de fraguado. Esta relación se mantiene constante y no necesariamente coincide con la que se empleará en campo. Los ensayos de compatibilidad incluyen una dosis variable de aditivo que puede restarse o no a la cantidad de líquido calculado para obtener una A/C dada.

En el caso particular de las especificaciones que aparecen en la Tabla 3 para una relación A/C de 0.45 la aguja de Vicat debe detenerse a máximo 35 mm de profundidad (altura total usual es de 40 mm± 1 mm) antes de 80 seg. ó 25 mm de profundidad antes de 70 seg (dos especificaciones similares). Esto determina el límite de tiempo al que máximo se espera obtener el fraguado inicial. Así mismo se espera que el fraguado final tenga lugar antes de 120 seg.

Ahora bien, ¿qué pasa si el sistema (agua destilada + cementante + máxima dosis de acelerante) no alcanza el fraguado inicial (definido ya sea a 25 mm o a 35 mm de penetración) antes de los tiempos estipulados? ¿Qué pasa si la diferencia son 10 o 20 segundos más que el máximo establecido? La mayoría de los supervisores de obra estarían dispuestos a declarar una "incompatibilidad" cementante/aditivo. Por lo tanto estarían dispuestos a descalificar un cementante o un acelerante por esta razón.

Lo cierto es que la interpretación o alcance de este ensayo de compatibilidad se concentra en identificar incompatibilidades. Y una verdadera incompatibilidad es cuando el fraguado final usando estas metodologías es mayor a 5 minutos. Son usuales casos en los que el fraguado inicial en sistemas Cementante/Acelerante pueden tomar 15 minutos. Son este tipo de incompatibilidades las que permiten descalificar un sistema cementante/acelerante, no si se demora 10 o 15 segundos más.

Lo cierto es que acelerantes que no encajan exactamente en estos límites de tiempo en campo, bajo las condiciones de dosificación, mezcla y lanzado funcionan muy bien. Es por ello que los ensayos de compatibilidad en laboratorio son solo indicativos del sistema no lo suficientemente precisos para descalificar un sistema por pocos segundos de diferencia. El mezclado manual implica entre 5 a 6 órdenes de magnitud menos de resistencia al corte que el mezclado real del acelerante entre el caudal del concreto bajo condiciones reales. El tiempo de mezclado igualmente difiere entre 4 a 5 órdenes de magnitud con lo que ocurre en la aplicación real. Debido a lo anterior Sika ha desarrollado sistemas que simulan de una manera más real el mezclado y dosificación de aditivos acelerantes en la pasta de cemento para entender el sistema cementante/acelerante en condiciones de laboratorio (Minishot 2013).

De esta forma es altamente recomendable tomar los límites de compatibilidad como indicadores de tendencias o identificadores de tiempos extendidos para verdaderas incompatibilidades en términos de minutos y no de segundos.

REDUCCIÓN DE RESISTENCIA EN EL TIEMPO

Existe una malinterpretación común al emplear el término “reducción de resistencia en el tiempo”. Esta expresión no se refiere a que una mezcla de concreto endurecido que ha alcanzado una resistencia dada a los 7 días, a los 28 días tenga una resistencia inferior. No, la reducción de resistencia se refiere a la comparación entre dos mezclas de concreto similares en composición con la única excepción de que una de ellas tiene acelerante y la no otra no. La mezcla acelerada efectivamente tiene mayores resistencias tempranas pero a larga edad tiene resistencias inferiores que la mezcla no acelerada. Las mezclas aceleradas químicamente o con temperatura tienen este comportamiento debido a que la masiva hidratación a edad temprana tapona el acceso a la hidratación de cementantes aun no hidratados, igualmente los productos de hidratación son ligeramente distintos que las mezclas no aceleradas. En el extremo opuesto, los concretos retardados con retardantes o temperatura presentan menores resistencias iniciales (reducción de resistencia temprana edad) y mayores resistencias finales.

Acelerar el concreto térmica o químicamente equivale a la redefinición del perfil de evolución de resistencias. La ingeniería decide que perfil de resistencia requiere, en el caso del concreto lanzado, se necesita una curva que crezca decididamente durante las primeras 24 horas y luego simplemente alcance la resistencia de diseño.

La figura 3 se constituye así en el perfil de resistencia obtenido por un acelerante con base en aluminatos (de los aditivos que más castigan las resistencias finales) al cabo de 2 años.

COMPARACIÓN DE RESISTENCIA ENTRE CILINDROS NO ACELERADOS Y NÚCLEOS LANZADOS ACELERADOS

El comité de concreto lanzado ACI 506.2-5 (“Especificaciones para el concreto lanzado”) para el control de calidad del material, establece en su parágrafo 1.6.2.1: “Fabrique una artesa para cada tipo de mezcla, cada día de trabajo o para cada 38 m³ colocados cualquiera de los anteriores que sea el menor. La artesa deberá permanecer húmeda y a una temperatura entre 15 a 27 °C hasta que sea trasladada al laboratorio. Obtenga los especímenes de ensayo ya sea de la artesa o del concreto

colocado en sitio. Ensaye los especímenes de las artesas de acuerdo con la ASTM C 1140”

Si se va a controlar el material, pueden existir dos opciones, la primera muestrear el concreto lanzado antes de entrar en la bomba (sin acelerante) y seguir el protocolo de un concreto convencional. La segunda implica que el fabricante o proveedor de concreto asuma la responsabilidad del proceso de bombeo y lanzado hasta la artesa (cajón de lados inclinados) y sea de ésta artesa (ya con acelerante), de la que se extraen los especímenes de concreto (núcleos o cubos) para hacer entonces el control de calidad del material. Sin embargo la artesa deberá ser curada bajo condiciones constantes y controladas (HR > 95% y T 23°C ± 2°C), como cualquier espécimen elaborado para efectos de evaluar la calidad del material.

Ahora bien, no es lo mismo un cilindro vaciado en una formaleta con desmoldante que un núcleo extraído con broca diamantada. El célebre ACI 318, es claro al mencionar que todo núcleo extraído deberá considerarse como aceptable frente a una resistencia de diseño f'_c (recordemos que f'_c está definida bajo condiciones normalizadas de especímenes fundidos), si alcanza un $0.85 \cdot f'_c$. Esto debido a que proceso de extracción del núcleo microfisura el material y provoca la pérdida de adherencia entre el agregado y la pasta, fenómenos que son inducidos por los esfuerzos de torsión generados por la broca. Existe una discusión frecuente en las obras sobre si aplicar o no este factor², la respuesta puede estar directamente en el mismo comité del ACI 506.2-5 que en su parágrafo 1.6.2.4 dice:



“El promedio de resistencia a la compresión de un grupo de tres núcleos debe ser igual a $0.85 \cdot f'c$ y ningún resultado individual deberá ser inferior a $0.75 \cdot f'c$. El promedio de un juego de tres cubos debe ser igual o superior a $f'c$ y ningún dato individual debe ser inferior a $0.88 \cdot f'c$ ”.

Como vemos el factor se aplica, tanto para brocas (núcleos) como para cortadoras (cubos).

Si el control de calidad del material de un concreto lanzado se efectúa sobre especímenes que han madurado bajo condiciones constantes y controladas de colocación y curado, ¿qué pasa con la estructura?

En este caso el extraer núcleos de la estructura implica extraer: mano de obra, condiciones de curado, limpieza del sustrato (¿secundario sobre primario sucio?), rebote (clásico concreto que cae en cornisas suelto), temperatura variable etc. Por lo tanto, debe prestarse especial atención a la interpretación de los resultados y a su variación. En la estructura se tienen todas las variables involucradas: material, mano de obra, máquina, clima, pero sin duda es la estructura la que más interesa para el funcionamiento final del proyecto.

El cilindro no acelerado se puede evaluar si la responsabilidad del proveedor del concreto llega hasta ahí, o si el fabricante decide que quiere entender la variación del material antes de involucrar variables adicionales que aparecen como la mano de obra, presión de la bomba, naturaleza y dosis del aditivo. Son tantas las variables que no es lógico comparar las resistencias de los cilindros normalmente consolidados y sin acelerantes frente a núcleos que incluyen acelerante, una extracción y geometrías distintas.

ESTABILIDAD DE LOS ACELERANTES DE LANZADO.

Uno de los retos tecnológicos más importantes con el uso de acelerantes instantáneos para concreto lanzado corresponde justamente a la estabilidad de los mismos en el tiempo. Los acelerantes para lanzado tienen en general densidades muy altas para ser líquidos, puesto que en muchas ocasiones superan los 1.4 kg/L. Los tiempos de almacenamiento de los acelerantes pueden ir entre 2 meses a 12 meses, dependiendo de su composición química, en climas fríos existe un mayor riesgo de sedimentación que en climas cálidos. Es cierto que los aditivos de concreto lanzado deben tener mayores cuidados en cuanto a su estabilidad y su agitación debe darse ojalá por sistemas neumáticos. Sin embargo durante los últimos años los avances en sistemas de estabilidad de los mismos, han sido sensibles y han logrado poco a poco mayores tiempos de almacenamiento.

REFERENCIAS

- Weber J., Bayer K., Pintér.F “19 Th Century “novel” building materials: Examples of various historic mortars under the microscope”. 2nd Historic Mortars Conference HMC 2010 and RILEM TC 203-RHM Final Workshop 22-24 Sept. 2010 Prague, Czech Republic.
- Gleber, S., Schutz, R., “ Is $0.85 f'c$ valid for shotcrete” Concrete International
- Höfler., J., Schulumpf J., Jan Markus. Sika Sprayed Handbook
- Schutz., R “Properties of Shotcrete admixtures” ACI SP 54 1977
- Wombacher, F. J., Maeder, U., Somme M., “Low Cement Content Shotcrete: A Comparison” ACI SP 212 June 2003
- American Concrete Institute 506R-05 Guide to Shotcrete .



SIKA UN AMPLIO RANGO DE SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN



IMPERMEABILIZACIÓN



CONCRETO



REFORZAMIENTO



PEGADO Y SELLADO



PISOS



CUBIERTAS

¿QUIÉNES SOMOS?

Sika es una compañía activa mundialmente en el negocio de los productos químicos para la construcción. Tiene subsidiarias de fabricación, ventas y soporte técnico en más de 89 países alrededor del mundo. Sika es líder mundial en el mercado y la tecnología en impermeabilización, sellado, pegado, aislamiento, reforzamiento y protección de edificaciones y estructuras civiles. Sika tiene más de 16.000 empleados en el mundo y por esto, está idealmente posicionada para apoyar el éxito de sus clientes.

Sika Colombia S.A.S.

BARRANQUILLA

Cll. 114 No. 10 – 415. Bodega A-2
Complejo Industrial Stock Caribe.
Barranquilla
Tels.: (5) 3822276 / 3822008 /
3822851 / 3822520 / 30
Fax: (5) 3822678
barranquilla.ventas@co.sika.com

CALI

Cll. 13 No. 72 - 12
Centro Comercial Plaza 72
Tels.: (2) 3302171 / 62 / 63 / 70
Fax: (2) 3305789
cali.ventas@co.sika.com

CARTAGENA

Albornoz - Vía Mamonal
Cra. 56 No. 3 - 46
Tels.: (5) 6672216 – 6672044
Fax: (5) 6672042
cartagena.ventas@co.sika.com

EJE CAFETERO

Centro Logístico Eje Cafetero
Cra. 2 Norte No. 1 – 536
Bodegas No. 2 y 4. Vía La Romelia
- El Pollo
Dosquebradas, Risaralda
Tels.: (6) 3321803 / 05 / 13
Fax: (6) 3321794
pereira.ventas@co.sika.com

MEDELLÍN

Km. 34 Autopista Medellín - Btá -
Rionegro
PBX: (4) 5301060
Fax: (4) 5301034
medellin.ventas@co.sika.com

SANTANDERES

Km. 7 - Vía a Girón
Bucaramanga - Santander
PBX: (7) 646 0020
Fax: (7) 6461183
santander.ventas@co.sika.com

TOCANCIPÁ

Vereda Canavita
Km. 20.5 - Autopista Norte
PBX: (1) 878 6333
Fax: (1) 878 6660
Tocancipá - Cundinamarca
oriente.ventas@co.sika.com,
bogota.ventas@co.sika.com

La información y, en particular, las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, y se basan en el conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de la obra son tan particulares, que ninguna garantía respecto a la comercialización o a la adaptación para un uso particular, o a alguna obligación que surja de relaciones legales, puede ser inferida de la información contenida en este documento o de otra recomendación escrita o verbal. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho publicadas en la página web: col.sika.com. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de las Hojas Técnicas, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.

