

UN ACELERANTE HASTA PARA LAS CONDICIONES MÁS DURAS

SikaRapid®C-100 tecnología de endurecimiento para hormigones exigidos.

CONTENIDO

- 5** Formas de acelerar el hormigón

- 8** Nueva tecnología de aceleración

- 11** Principales aplicaciones

- 13** Hormigón al vapor, con acelerante... sin vapor?





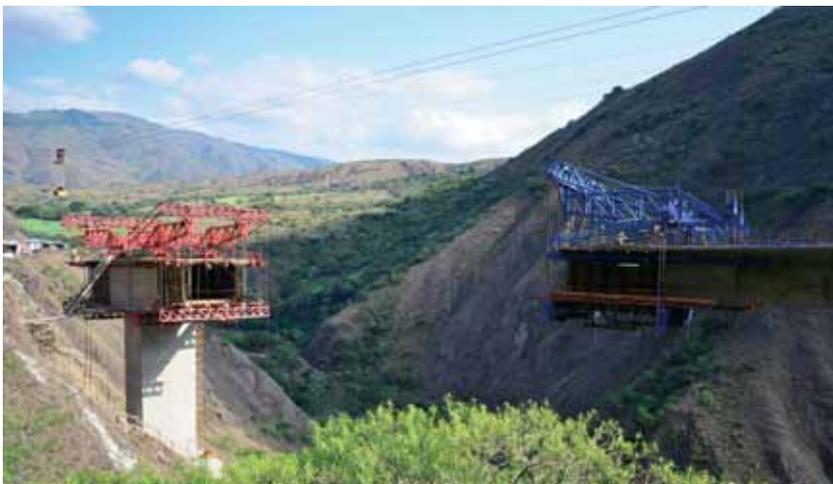


FORMAS DE ACELERAR EL HORMIGÓN

Más rápido, más alto, más fuerte parecen ser las consignas de la construcción de hoy. Si se trata de construir un puente de hormigón en voladizos sucesivos, el ritmo de nuestro avance estará dictado por los tiempos de tensionamiento de las dovelas enhebradas por decenas de torones de acero. La aplicación de dicha tensión al refuerzo sólo será posible cuando el nivel de resistencia alcanzado por el joven hormigón, sea el suficiente para soportarlo. Es decir, la evolución de la resistencia del hormigón es la que gobierna en este caso, como en muchos otros, el avance de la obra.

Existen diferentes formas de acelerar la hidratación de un hormigón y entre las más importantes están:

- A. Aumentar la temperatura del hormigón, de modo que las reacciones químicas que tienen lugar durante la hidratación se aceleren.
- B. Modificar la composición del ligante usando un cemento de rápida hidratación.
- C. Modificar el diseño del hormigón disminuyendo la relación agua/cemento para que la curva de evolución de resistencia se levante a todas las edades.
- D. Incluir en el hormigón acelerantes químicos que promuevan el inicio de los procesos de hidratación, acortando los tiempos de fraguado y/o el endurecimiento.



La posibilidad de aumentar la temperatura del hormigón incluye desde calentar sus componentes de mayor masa (agregados), hasta emplear curado al vapor. Estas metodologías si bien son de uso cotidiano en la construcción, además de implicar una inversión de energía y generación de CO₂, no son en general de fácil aplicación, por lo que se limitan a ciertos casos en climas fríos o prefabricación.

Por otro lado usar un cemento de rápida hidratación, si se tiene la posibilidad de acceder a uno, no resulta muchas veces suficiente para lograr las expectativas de aceleramiento requeridas.

Otro de los métodos empleados para acelerar las resistencias del hormigón es disminuir la A/C. En realidad la relación agua/cemento no afecta los tiempos de fraguado de la pasta de cemento, la reacción inicial es la misma. En lo que tiene que ver con el endurecimiento por supuesto se "sube" toda la curva de resistencia en el tiempo, pero probablemente sea este el camino más costoso para incrementar las resistencias tempranas si se emplea exclusivamente.



Dovelas Túnel Emisor Oriente (México)

La forma más común en la construcción para promover una hidratación temprana del cemento se constituye sin duda, en el empleo de compuestos químicos. Por supuesto el uso de acelerantes químicos puede combinarse con todas las metodologías antes mencionadas.

La tecnología química hoy nos permite modificar la velocidad de fraguado y endurecimiento del hormigón, prácticamente a nuestro gusto. Cuando se trata de acelerar los procesos de hidratación del material existen muchas sustancias, desde acelerantes instantáneos tan comunes en hormigones proyectados como acelerantes de endurecimiento que sólo actúan una vez los fraguados han tenido lugar.

Los acelerantes instantáneos no los usamos para construcciones convencionales simplemente porque no tendríamos tiempo para verter el hormigón en los moldes y consolidarlo, se nos endurecería antes con la pala dentro de la masa del material.

Los acelerantes pueden ser vistos de diferentes formas, por ejemplo de acuerdo a su composición química, al tiempo en que actúan, a su mecanismo de funcionamiento etc. Así, dependiendo de su composición química, algunos de los principales códigos de construcción (ACI 318), dividen los acelerantes entre aquellos que contienen cloruros y los que no los contienen. De acuerdo al momento en que actúan, existen los acelerantes de fraguado que afectan las primeras etapas de hidratación y los acelerantes de endurecimiento (EN 493-2) que tienen efecto a edades más tardías. Existen acelerantes que actúan sobre adiciones minerales (ceniza volante, escoria de alto horno etc.) específicas contribuyendo a la hidratación temprana de estos compuestos (véase brochure "Aditivos para hormigón" Sika 2012).

Los acelerantes son usados para todo tipo de aplicaciones aunque su finalidad es la misma para casi todos los casos: *“para una edad dada del hormigón se requiere un nivel de resistencia que el hormigón sin acelerante todavía no ha alcanzado”*. La resistencia del hormigón desde que es mezclado hasta que ha estabilizado su hidratación, puede tener una evolución de más de 7 órdenes de magnitud. Por lo tanto, el afirmar que un hormigón es un material que evoluciona en el tiempo quiere decir en realidad, que se transforma radicalmente con el transcurrir de los días. Sin ir demasiado lejos (desde estado líquido a endurecido), un hormigón convencional a las 24 horas puede tener una resistencia que es usualmente 4 veces más pequeña que la que alcanza a los 28 días. Sin embargo, la construcción de hoy nos puede pedir que en ese mismo primer día, el mismo hormigón logre la resistencia que alcanzaría en un mes. Hoy podemos “manipular” el material y lograr este tipo de transformaciones apoyándonos en la química de los acelerantes. Los acelerantes más comunes empleados en el mundo son los que tienen como base activa una sal como el cloruro (cloruros de calcio, sodio etc.). Sin embargo el uso de cloruros está proscrito en muchos países porque los cloruros son probablemente los compuestos que más rápidamente también contribuyen al avance de la corrosión del acero de refuerzo.

Los códigos de construcción y especificaciones limitan cada vez más el uso de acelerantes que contengan cloruros y eso se constituyó en un desafío económico e ingenieril para los fabricantes de aditivos.

Una nueva tecnología nace así de la necesidad de contar con un acelerante sin cloruros que tenga un efecto sobre todo antes de las 24 horas, es decir que incluya el tiempo de fraguado y las primeras etapas de la hidratación conocida como endurecimiento.

Muchos procesos hoy en la construcción se efectúan antes de las 24 horas, las operaciones de desencofrado, liberación de soportes, tensionamientos y hasta puesta en servicio de estructuras son comunes, sin mencionar todos los procesos relacionados con la prefabricación.

Los acelerantes con cloruros en general tienen un efecto importante sobre los tiempos de fraguado y las primeras horas de hidratación, muchos compuestos alternativos sin cloruros fueron ensayados con diferentes niveles de funcionamiento para las primeras 24 horas, pero sin duda un avance sensible en la tecnología del hormigón lo constituye la aparición del aditivo **SikaRapid® C-100**.



Placas prefabricadas para Muelle - Buenaventura (Colombia)



NUEVA TECNOLOGÍA DE ACELERACIÓN

SikaRapid®C-100



Este aditivo sin cloruros tiene un peso específico de 1.45 kg/L, sin duda un líquido denso que guarda en su interior una tecnología de aceleramiento que apela a principios químicos innovadores en la construcción. Este líquido contiene una dispersión especial de sólidos en suspensión que ofrece nuevas superficies de precipitación y cristalización a los compuestos del cemento durante su reacción.

Una de las confusiones más frecuentes en el uso de un acelerante es considerar que todo sistema cemento/acelerante funciona igual. En realidad el efecto de aceleramiento sobre un cemento depende de la composición misma del cementante, por lo que un acelerante altamente eficiente con unos cementos puede ser mucho menos eficiente con otros. En otras palabras, los acelerantes son sensibles al cemento empleado. Veamos el funcionamiento de **SikaRapid®C-100** para tres cementos distintos (A, B y C), uno de ellos altamente adicionado.

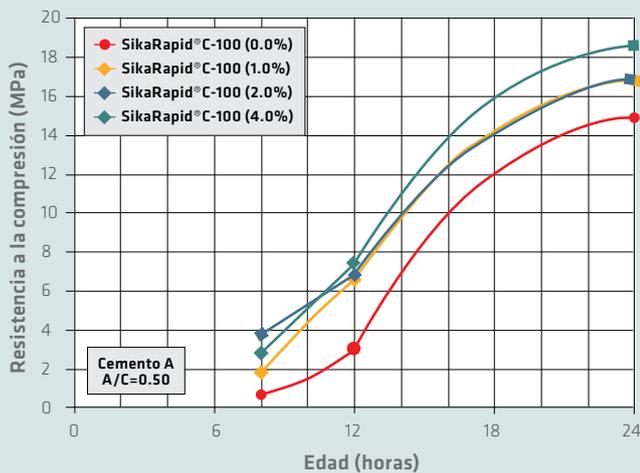


Fig. 1. Evolución de resistencias a la compresión con diferentes dosis de SikaRapid®C-100, frente a un hormigón sin acelerante (Cemento A). Temperatura ambiente 20 °C±3 °C, HR 60%±5%

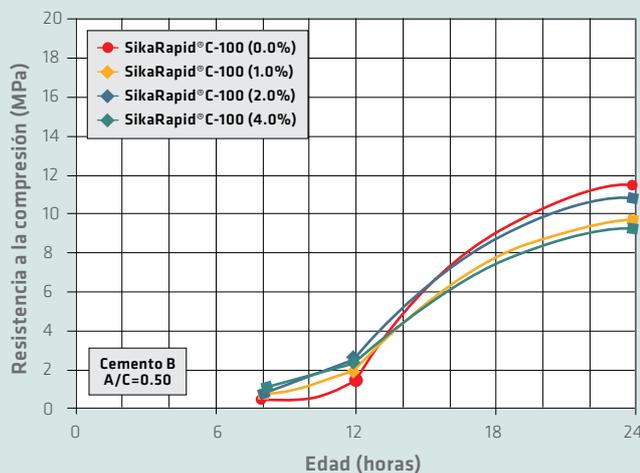


Fig. 2. Evolución de resistencias a la compresión con diferentes dosis de SikaRapid®C-100, frente a un hormigón sin acelerante (Cemento B). Temperatura ambiente 20 °C±3 °C, HR 60%±5%

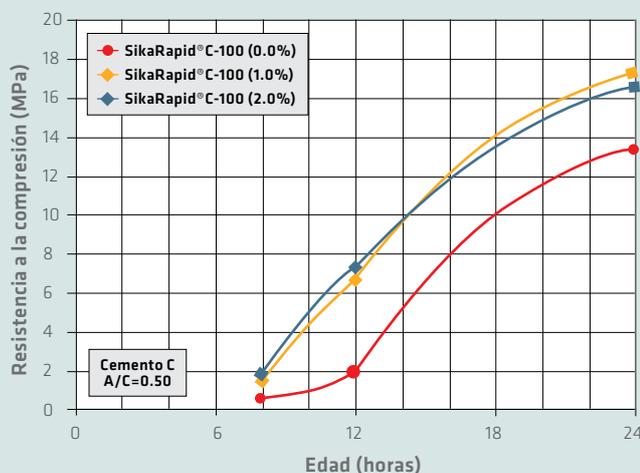


Fig. 3. Evolución de resistencias a la compresión con diferentes dosis de SikaRapid®C-100, frente a un hormigón sin acelerante (Cemento C). Temperatura ambiente 20 °C±3 °C, HR 60%±5%

Todos los cementos son diferentes en su composición química, de esta forma vemos que SikaRapid®C-100 con una dosis del 1% multiplicó las resistencias de los cementos A, B y C, en factores diferentes como aparece en la Tabla 1:

	8 hr	12 hr	24 hr	28 días
Cemento A	2.7	2.2	1.1	1.3
Cemento B	1.7	1.4	0.8	0.9
Cemento C	2.6	3.4	1.3	1.3

Tabla 1. Factores multiplicadores de la resistencia frente al mismo hormigón sin aditivo, dados por el SikaRapid®C-100 con una dosis del 1%, para tres cementos distintos

Como vemos con los cementos A y C el efecto del acelerante fue notorio para todas las edades incluyendo los 28 días mientras que para el cemento B, el sistema acelerante/cemento fue efectivo solo a las 8 y 12 horas, para las 24 horas y 28 días no fue tan eficiente. El cemento B (Fig. 2) fue además, entre los cementos comparados, el que menor desarrollo de resistencias obtuvo. En general los acelerantes funcionan como un sistema dual en que la interacción acelerante/cemento gobierna en buena parte la posibilidad de acelerar químicamente el fraguado como el endurecimiento.

SikaRapid®C-100 puede dosificarse hasta una dosis del 4% y con algunos cementos a las 8 horas el factor multiplicador de la resistencia puede ser de 5 veces la resistencia del hormigón que no incluyó este aditivo.

La Tabla 1 igualmente nos ilustra como la inclusión de este acelerante sin cloruros no afectó mayormente las resistencias a larga edad, como suelen hacerlo muchos acelerantes con base en cloruros.

¿CÓMO AFECTA LAS DEMÁS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EL USO DEL SIKARAPID C 100?

En estado plástico esta sustancia no tiene en general un efecto plastificante, ni afecta la plasticidad inicial. En algunos cementos puede afectar la trabajabilidad del hormigón en el tiempo por lo que el intervalo entre su inclusión y la colocación del hormigón no debe ser muy extendido, sin embargo algunos casos en hormigón premezclado han demostrado la posibilidad de usarlo en este ámbito, pero una vez más el sistema acelerante/cemento juega un papel fundamental.

En lo que tiene que ver con los tiempos de fraguado, cuenta en general con un efecto importante. La figura 4 nos muestra la evolución en la hidratación del hormigón con y sin **SikaRapid®C-100** en una dosis creciente. Como lo muestra dicha figura, a medida que se incrementa esta sustancia el inicio de la hidratación (leída en este caso como el incremento en la temperatura del material por la aparición de los hidratos) tiene lugar cada vez más temprano. Así para una dosis del 4% la máxima hidratación que puede interpretarse como el fraguado final tuvo lugar a las 5 horas de haber sido mezclado el hormigón mientras que ese mismo hormigón sin acelerante, alcanzó su fraguado final a las 11 horas.

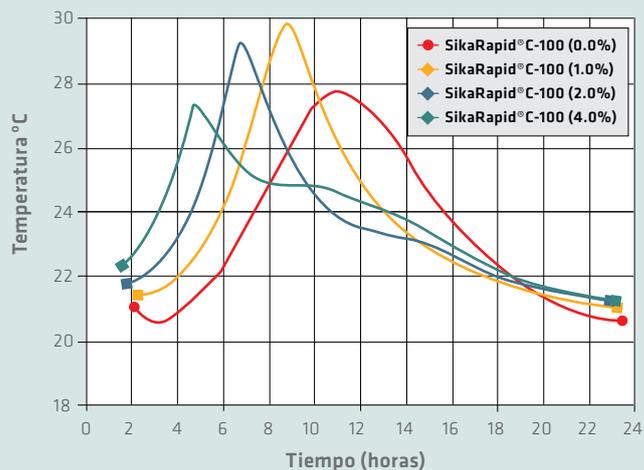


Fig. 4. Evolución de la hidratación del hormigón a través de medidas de temperatura con diferentes dosis de **SikaRapid®C-100**, frente a un hormigón sin acelerante (Cemento A). Temperatura ambiente 20 °C±3 °C, HR 60%±5%



PRINCIPALES APLICACIONES

REMOCIÓN DE ENCOFRADOS

En algunas obras civiles la ruta crítica de la construcción puede no pasar por la resistencia del hormigón. En este tipo de obras muchas actividades avanzan paralelamente a la ganancia de resistencia del material y no existe entonces mayor premura por liberar los moldes o exigir a la joven estructura para que soporte cargas. Sin embargo, en muchos casos el elemento de hormigón debe ser liberado lo más pronto posible ya sea porque: se necesitan reutilizar los moldes o peor aún, por que el mismo elemento de hormigón debe soportar su propio peso y el de nuevas estructuras conectadas.

La remoción de encofrados o moldes en las aplicaciones de hormigón premezclado convencional, normalmente tiene lugar antes de 36 horas. En edificios construidos con muros y placas de hormigón (sistemas industrializados), resulta frecuente que el material termine de afinarse al final de la tarde, de modo que durante la noche fragüe e inicie su proceso de endurecimiento. Así, a la mañana siguiente, cuando el material ha cumplido entre 14 y 18 horas es liberado el molde. Estos sistemas de bajo espesor son muy sensibles a la tempera-

tura ambiente de modo que noches con bajas temperaturas pueden implicar dificultades a la hora de desencofrar. Los sistemas de construcción industrializados incluyen, en la mayoría de los casos, un acelerante químico de modo que se garantice una correcta liberación de la formaleta. Si no es posible retirar el molde, la obra entera se retrasa debido a que buena parte de las actividades del siguiente día se desarrollan usando los moldes liberados y la nueva estructura. **SikaRapid®C-100** puede ser empleado para multiplicar la resistencia a edades tempranas y éste aditivo es justamente más eficiente antes de las 24 horas.

SikaRapid®C-100 idealmente debería ser aplicado justo antes de vaciar el hormigón debido a que con algunos cementos puede afectar la trabajabilidad en el tiempo. El retiro de una cimbra es una operación que demanda especial cuidado, por ello en procesos donde además hace parte de la ruta crítica, un acelerante de la hidratación es una herramienta difícil de ignorar.



Cimentación Centro Comercial

DESARROLLO DE RESISTENCIAS A BAJA TEMPERATURA

A baja temperatura la hidratación del cemento, que es una reacción química, se retarda. De hecho si la temperatura del hormigón es inferior a 5 °C dicha reacción no tiene lugar. En climas fríos es usual calentar los componentes del hormigón o simplemente el agua para garantizar una temperatura mínima con el objeto de transportar, vaciar y consolidar el material. Una vez estas operaciones han tenido lugar se emplean elementos aislantes (mantas, plásticos) para conservar la temperatura del elemento.

Emplear medios de calentamiento resulta costoso y poco práctico en la mayoría de los casos y garantizar un correcto aislamiento tampoco es una tarea sencilla en elementos verticales o irregulares.

La figura 5 expone el efecto del acelerante **SikaRapid®C-100** para hormigones que evolucionan a baja temperatura ambiente.

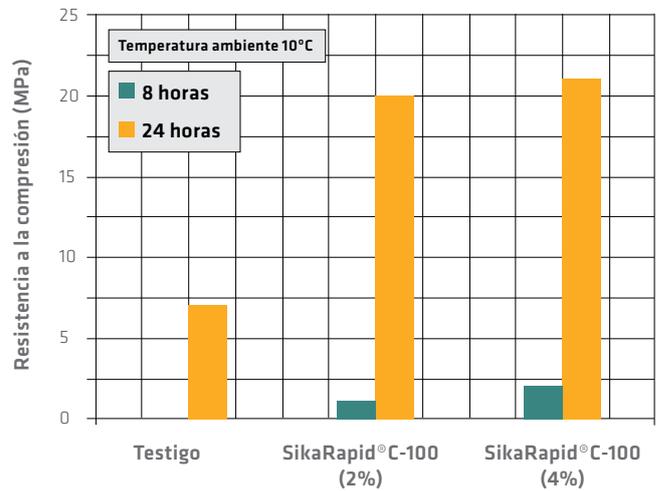


Fig. 5. Evolución de la resistencia del hormigón sin acelerante (Testigo) y con dos dosis de acelerante. Temperatura ambiente 10 °C±3 °C.



Formaleta para túnel falso - Presa cantarrana, Colombia



REPARACIONES

Reparaciones que demanden una rápida puesta en servicio de la estructura, como pavimentos cuya resistencia a la flexión deber superar los 4 MPa a las 6, 12 o 24 horas (Tipo Fast Track) para habilitar el tránsito, encuentran en la tecnología **SikaRapid®C-100** una solución que permite alcanzar dichos niveles de resistencias.

En general estructuras de hormigón reforzado que sólo disponen de cortas interrupciones de servicio para ser reparadas, pueden alcanzar altas resistencias iniciales con la tecnología de este acelerante sin afectar las resistencias finales.

PREFABRICACIÓN

Una de las aplicaciones naturales del **SikaRapid®C-100** tiene lugar en la industria de la prefabricación. Entre las ventajas más evidentes del empleo de una sustancia como esta se encuentran:

- Remoción temprana de moldes.
- Aumento de la producción.
- Optimización del diseño de mezcla.
- Disminución de la temperatura de curado.
- Disminución o eliminación del curado a vapor
- No tiene efectos negativos sobre las resistencias finales.

¿HORMIGÓN AL VAPOR, CON ACELERANTE... SIN VAPOR?

La elaboración de elementos de hormigón de manera industrial como es el caso de vigas o placas prefabricadas, dovelas para TBM o elementos prefabricados en general, se constituye en una de las circunstancias donde el material es en extremo exigido a edades muy tempranas.

En estos casos muchos contratistas o prefabricadores emplean el curado a vapor para acelerar el proceso de hidratación del hormigón. Esto representa una inversión en energía y recursos que sin embargo se justifica cuando se pretende cumplir con una producción durante un tiempo dado.

Si bien el curado a vapor es una de las técnicas más antiguas para acelerar la hidratación (1912)⁽¹⁾, esta exige un control estricto sobre la temperatura debido a la posibilidad de sobrepasar ciertos límites (v.g. 70 °C) que engendran problemas expansivos⁽²⁾, como la generación de etringita tardía lo que se traduce en agrietamientos posteriores. Así mismo, se ha determinado que el curado a vapor a presión atmosférica, genera hormigones con porosidades abiertas que terminan con valores de permeabilidad a cloruros altas⁽³⁾, es decir son

más vulnerables a ser atacados por corrosión al ser expuestos a ambientes salinos.

Los efectos de aceleración obtenidos con un curado a vapor pueden obtenerse sin problemas usando acelerantes como el **SikaRapid®C-100**. Es decir el curado a vapor puede eliminarse o reducirse (en tiempo o usando temperaturas más bajas) cuando se emplea un acelerante.

La figura 6 expone el efecto del curado a vapor durante las primeras 24 horas en un hormigón dado. En esta figura se ha señalado la resistencia de 15 MPa como la condición a alcanzar para liberar un elemento prefabricado (quitar el molde e izarlo... un pilote, o una dovela).

Como vemos si ese hormigón endurece rodeado de una temperatura ambiente de 20 °C, alcanzará dicho nivel de resistencia a las 18 horas y 30 minutos. Ahora bien, si ese mismo elemento madura bajo condiciones de temperatura ambientales (que pronto serán las condiciones del material) de 40 °C o 65 °C, alcanzarán el mismo nivel de resistencia a las 15 horas y 8 horas respectivamente.

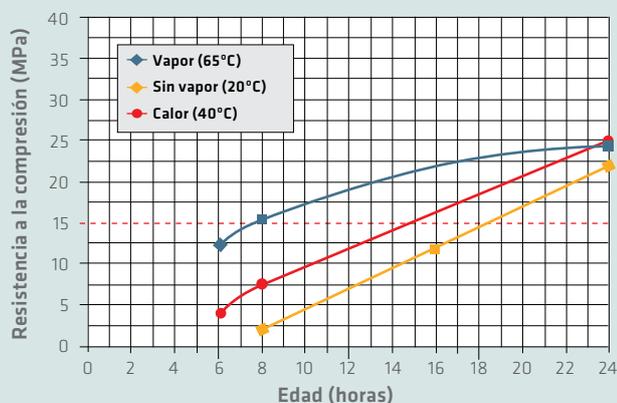


Fig. 6. Evolución de la resistencia del hormigón bajo tres diferentes condiciones de temperatura externa.

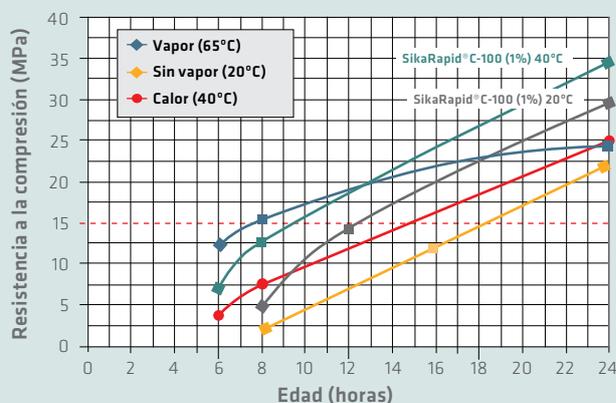


Fig. 7. Efecto de **SikaRapid®C-100** al 1% sobre la evolución de resistencia a 20°C y a 40°C.

La figura 7 expone el efecto de la inclusión del **SikaRapid®C-100** que alcanza los 15 MPa a 12 horas cuando el hormigón evoluciona a 20 °C y a 9 horas 30 minutos cuando el hormigón se hidrata a 40 °C, muy cerca de la condición lograda por el mismo hormigón cuando evoluciona a 65 °C sin acelerante.

EL EMPLEAR UNA TEMPERATURA DE CURADO MÁS BAJA CON UN ACELERANTE O EL EMPLEO EXCLUSIVO DE UN ACELERANTE, PERMITE DISMINUIR LA INVERSIÓN DE ENERGÍA Y OTORGA UN FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LOS PROBLEMAS DE DURABILIDAD QUE EL CURADO A VAPOR IMPLICA.

(1) ACI 517-80 "Accelerated curing of concrete at atmospheric pressure"- State of Art. American Concrete Institute MCP. ACI Materials Journal Nov.-Dec. 1980

(2) Skalny, J., Marchand, J., Odler, I "Sulfate attack on concrete" Modern Concrete Technology 10. Spon Press Taylor & Francis Group (2002)

(3) Mehmet, G. «Influence of steam curing on the properties of concretes incorporating metakaolin and silica fume" Materials and Structures (2010) 43:1123-1134

OPTIMIZACIÓN DEL HORMIGÓN EMPLEANDO CEMENTOS ADICIONADOS

Las adiciones minerales como la ceniza volante, la escoria de alto horno, las puzolanas naturales son una increíble alternativa para obtener hormigones optimizados con iguales resistencias mecánicas, frente a los hormigones tradicionales que incluyen exclusivamente Cemento Portland.

Las adiciones cuentan con múltiples ventajas que trascienden lo económico, para lograr un hormigón más durable, sin embargo una de las desventajas de su uso está relacionada con una lenta adquisición de resistencias.

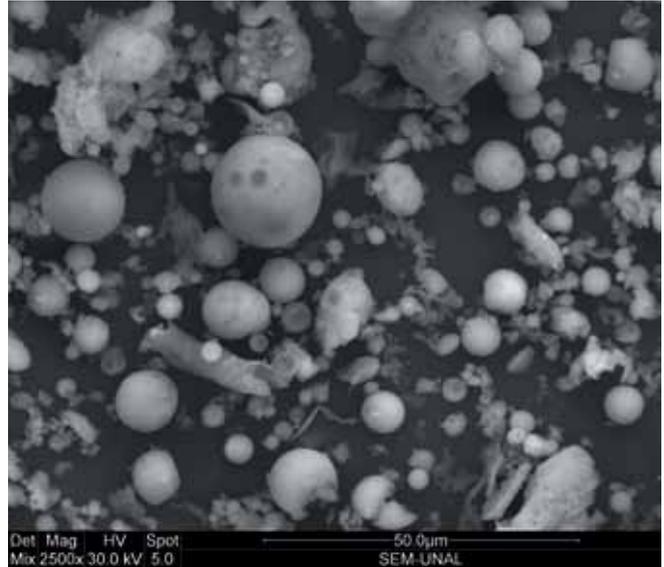
Hormigones que incluyen adiciones minerales además de alargar los tiempos de fraguado, en la mayoría de las ocasiones a edades tempranas desarrollan bajas resistencias si se las compara con hormigones que no incluyen dichos cementantes alternativos.

La inclusión o el uso de un acelerante permite corregir el perfil de resistencia a edades tempranas y optimizar el diseño del hormigón.

SikaRapid®C-100 promueve la desestabilización de las adiciones de modo que puedan reaccionar tempranamente con los productos de hidratación del cemento portland, permitiendo así el uso de hormigones adicionados en aplicaciones donde se requieren altas resistencias tempranas o fraguados cortos.

La nueva tecnología de aceleración sin cloruros

SikaRapid®C-100 es altamente eficiente antes de las 24 horas y su aplicación permitirá a fabricantes y usuarios del hormigón aumentar su producción y optimizar sus materiales.



Ceniza volante



Encofrado para hormigón de revestimiento en túnel vial.



Mina Pascua-Lama (Argentina) - 4.800 m.s.n.m.

Autor: Germán Hermida Ph.D.

SIKA UN AMPLIO RANGO DE SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN



IMPERMEABILIZACIÓN



HORMIGÓN



REPARACIONES Y REFUERZO



PEGADO Y SELLADO



PISOS



CUBIERTAS

¿QUIÉN 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 70 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 13.000 empleados en el mundo y por esto, está idealmente posicionada para apoyar el éxito de sus clientes.

Rigen nuestras Condiciones Generales de Venta más recientes.

Sírvase consultar la Hoja de Datos de Producto antes de cualquier uso y procesamiento.



SIKA ARGENTINA S.A.I.C.
Juan B. Alberdi 5250
B1678CSI Caseros
Pcia. Buenos Aires-Argentina

Contacto
Teléfono 011 4734 3500
mail: info.gral@ar.sika.com
web: sika.com.ar

CONSTRUYENDO CONFIANZA

