

Proceso de curado y optimización de los niveles de CO₂ en la cámara de curado

■ Sönke Tunn, Kraft Curing Systems GmbH, Alemania

El curado de bloques de hormigón es un proceso importante y determinante para la resistencia, la durabilidad y el aspecto del material. El curado de los bloques de hormigón depende en gran medida de las condiciones ambientales. Por esta razón, en los últimos años se han desarrollado modernas cámaras de curado que permiten curar bloques de hormigón en un entorno controlado. Este informe estudia los distintos métodos de curado de bloques de hormigón. Se muestran las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos, así como los efectos en el aspecto de los bloques de hormigón. Además, se aborda el uso de CO₂ en el entorno de curado.

Al comparar los procesos de curado más relevantes para los bloques de hormigón, se distingue conscientemente entre un proceso de curado y uno de secado. La principal diferencia entre el secado y el curado es que el secado sólo reduce el contenido de agua del bloque de hormigón, mientras que el curado aumenta las diferentes resistencias del bloque de hormigón.

Secado en sistemas de estanterías abiertas

El método más sencillo y rentable para curar bloques de hormigón es secarlos en un sistema de estanterías en la nave de producción. Con este método, los bloques de hormigón se colocan en un sistema de estanterías después de desmoldarlos y se dejan allí durante unos días.

La ventaja de este método son los bajos costes de inversión. Todo lo que se necesita es un sistema de estanterías que puede instalarse en la nave de producción.

La desventaja de este método es el secado desigual de los bloques de hormigón. Este depende de la temperatura del aire, del comportamiento del flujo de aire y de la época del año. En invierno, el curado puede no ser suficiente y los bloques de hormigón pueden no alcanzar la resistencia deseada. Las diferencias de color, las distintas resistencias según la ubicación en la estantería y también la desecación de la superficie debido a corrientes de aire son las principales razones por las que este sistema ya no es utilizado con frecuencia en la actualidad.



Moderna cámara de curado de Kraft Curing Systems GmbH en Alemania

Secado en cámaras de curado aisladas con aire de circulación

Si bien los niveles de humedad pueden ser mejores en este caso debido al aislamiento, sigue tratándose de un secado y no un curado, ya que no hay control sobre la humedad.

De todas formas, el secado de bloques de hormigón en una cámara de curado aislada supone una mejora con respecto al secado en un sistema de estanterías abiertas. La cámara de curado está aislada de forma que el calor generado durante la hidratación del hormigón no escape al exterior. De esta forma se consigue un secado más uniforme de los bloques de hormigón en la cámara.

El inconveniente de este método es que la cámara de secado sigue dependiendo del calor generado por la hidratación del hormigón. Por lo tanto, en las estaciones del año con climas más fríos puede que siga habiendo retrasos y diferencias de color, en comparación con un curado en estaciones del año más cálidas.

Secado en cámaras de curado calefactadas

En este método se añade calor adicional para superar los inconvenientes del secado en una cámara de secado aislada con aire de circulación. Esto puede hacerse mediante un generador de calor o utilizando el calor residual de otros procesos.

La ventaja de este método es que los bloques de hormigón se secan rápida y uniformemente. La cámara puede ajustarse a una temperatura constante, lo que permite que los bloques de hormigón se sequen de forma adecuada, independientemente de la época del año.

Por otro lado, la desventaja de este método es que los bloques de hormigón se deshumidifican con el calor. Esto puede provocar pérdidas de calidad, como p. ej. una menor resistencia a la abrasión, una deficiente resistencia a la congelación/descongelación, esquinas y bordes quebradizos y un aumento de la eflorescencia.

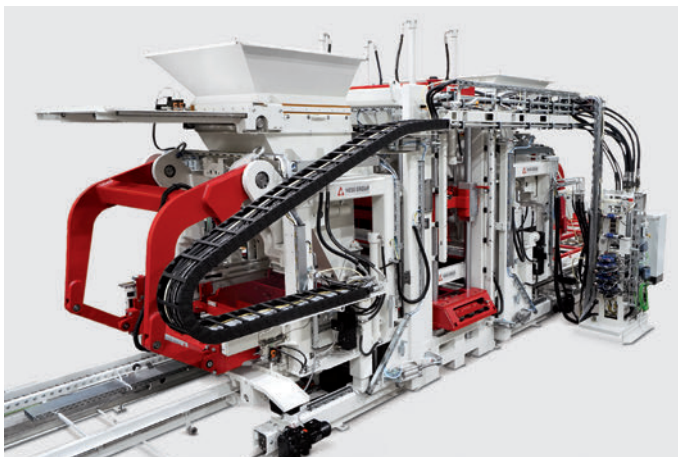
Curado en cámaras de curado calefactadas con humedad añadida

El siguiente paso es suministrar humedad adicional a la cámara de curado. Esto evita los problemas asociados al secado en cámaras de curado calefactadas y aumenta significativamente la dureza de esquinas y bordes. Especialmente en combinación con temperaturas de cámara elevadas, se trata de un añadido cualitativo necesario, que todo sistema de cámara moderno debería poseer hoy en día.

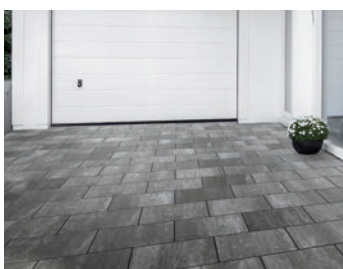
La desventaja, y esto está recibiendo mucha más atención hoy en la actualidad, es la falta de contenido de CO₂ en el entorno de curado. El contenido de CO₂ en cámaras de curado bien aisladas está por debajo del nivel atmosférico.



A member of **TOPWERK**



RH 2000-4 MVA –
la más alta **PRECISIÓN**
en el **MOLDEADO**
de hormigón



HESS GROUP es el principal proveedor mundial de máquinas bloqueras y sistemas de dosificación y mezcla de alto rendimiento, así como de las tecnologías de paletizado y transporte relacionadas.
www.hessgroup.com

Damos forma al hormigón.

El hormigón absorbe el CO_2 del aire. La absorción de CO_2 es máxima cuando el hormigón está fresco y disminuye con el tiempo. Esto reduce la concentración normal de CO_2 en la cámara. Sin embargo, la absorción de CO_2 va mucho más allá del tiempo de curado normal.

Curado con calor, humedad y CO_2 en la cámara de curado

En las cámaras de curado calefactadas, con humedad y adición de CO_2 , el curado de los bloques de hormigón se intensifica por el aumento de la carbonatación. Para ello se aumenta la concentración de CO_2 en el aire de la cámara. La profundidad de carbonatación puede ser de hasta 1 cm si se optimizan el contenido de CO_2 , la fórmula del hormigón y el tiempo de curado. Una superficie del bloque bien carbonatada proporciona al producto una superficie más densa, lo que significa que se evitan en gran medida las eflorescencias y se aumenta la estabilidad del color a largo plazo.

El TestCube de Kraft Curing permite ensayar diversas condiciones de curado y sus efectos en los productos de hormigón. Los ensayos realizados en varias plantas de hormigón han demostrado que la adición, incluso de pequeñas cantidades de CO_2 , es decir, el curado a una concentración de CO_2 comparativamente baja, tiene un efecto positivo en los productos.

Influencia del CO_2 en un entorno de curado

El aumento de las cantidades de CO_2 tiene un efecto de mejora de la calidad de los bloques de hormigón en el entorno de curado porque aumenta la dureza y la resistencia del hormigón. Durante la hidratación del cemento se forma

hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Éste reacciona con el dióxido de carbono (CO_2) del aire para formar carbonato de calcio (CaCO_3). El carbonato de calcio poco soluble forma una capa dura y resistente en la superficie del hormigón.

La profundidad de la carbonatación del bloque depende de la cantidad de dióxido de carbono, del tiempo de curado y de la composición del hormigón. Con mayores cantidades de dióxido de carbono, se forma más carbonato de calcio y aumenta la profundidad de carbonatación del hormigón. Por lo tanto, la estabilidad del color del hormigón depende, entre otras cosas, de la cantidad de dióxido de carbono que se añade al hormigón durante el curado.

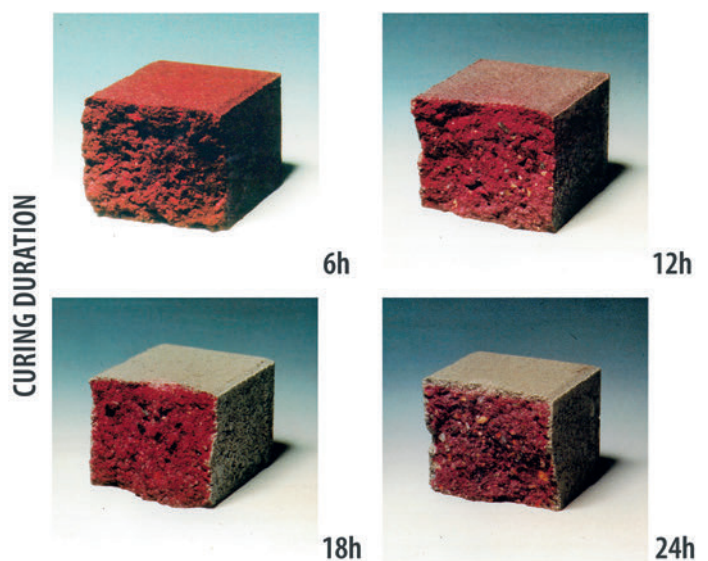
El tiempo de curado en la cámara puede aumentar la cantidad de CO_2 absorbida por el bloque, ya que la carbonatación del bloque de hormigón tarda determinado tiempo. La profundidad de difusión disminuye con el grosor del bloque de hormigón. Por lo tanto, es importante que los bloques de hormigón puedan permanecer en la cámara de curado durante un periodo de tiempo suficiente para permitir que se produzca la carbonatación.

Con un tiempo de curado más largo en la cámara, el CO_2 tiene más tiempo para difundirse en el bloque de hormigón y reaccionar con el hidróxido de calcio. Esto aumenta la cantidad de carbonato de calcio en el bloque de hormigón y hace que éste sea más duro, denso y resistente.

La carbonatación puede realizarse en una cámara de curado bien sellada con las modificaciones correspondientes. La elección del diseño de la cámara determina la cantidad deseada de CO_2 en el entorno de curado. Durante la carbonatación en una cámara de curado bien aislada, el CO_2 se introduce en el entorno de curado a través de una boquilla de gas o un inyector de CO_2 y se mezcla con el aire ambiente. Dependiendo de la cantidad de CO_2 que haya en el ambiente, es necesario tomar otras medidas para que la cámara sea segura para las personas en el entorno de trabajo.



El CO_2 TestCube de Kraft permite varios escenarios de curado



Con un tiempo de curado más largo en la cámara, el CO_2 tiene más tiempo para difundirse en el bloque de hormigón y reaccionar con el hidróxido de calcio.

Difusión y condensación

En la cámara de curado, el dióxido de carbono puede llegar a los bloques de diversas formas.

La difusión y la condensación, por ejemplo, son procesos en los que las sustancias se mueven de un lugar a otro. La diferencia fundamental entre ambos procesos es que la difusión es un fenómeno pasivo, mientras que la condensación es un fenómeno activo. La difusión es un proceso en el cual las moléculas o los átomos se mueven de un lugar a otro para alcanzar el equilibrio. La difusión tiene lugar a través del movimiento browniano, en el que las moléculas o los átomos están constantemente en movimiento aleatorio. Durante la difusión del CO₂ en los bloques de hormigón, las moléculas de CO₂ se difunden desde el aire a través de la superficie del bloque de hormigón hacia el interior. La velocidad de difusión depende del grosor del bloque de hormigón, de la concentración de CO₂ en el aire y de la temperatura.

La condensación es un proceso en el que un gas se transforma en líquido. La condensación se produce cuando la temperatura del gas desciende por debajo del punto de rocío. El vapor de agua del aire se condensa en la cámara y el CO₂ se encuentra como sustancia acompañante en el condensado. Desde un punto de vista puramente lógico: cuanto mayor sea la concentración de CO₂ en el aire de la cámara, mayor será la proporción de CO₂ en el agua condensada. La capa húmeda tiene una velocidad de difusión mayor que el

bloque de hormigón seco, por lo que aumenta la velocidad de difusión del CO₂ en el bloque de hormigón. En particular, el transporte de CO₂ en los bloques de hormigón por difusión y condensación puede explicarse como sigue:

Difusión

Las moléculas de CO₂ del aire se difunden a través de la superficie del bloque de hormigón hacia el interior.

La velocidad de difusión depende del grosor y la composición del bloque de hormigón, de la concentración de CO₂ en el aire y de la temperatura.

Condensación

El CO₂, como gas en el aire junto con el vapor de agua, se condensa en forma de agua en la superficie del bloque de hormigón. El agua forma una capa húmeda en la superficie del bloque de hormigón. La capa húmeda tiene una velocidad de difusión mayor que el bloque de hormigón seco. En una planta de bloques de hormigón, la condensación se produce cuando los productos frescos entran en la cámara de curado desde la nave de producción. A modo de ejemplo: los productos frescos tienen una temperatura de 15 °C y pasan a través de una abertura hacia el interior de una cámara de curado con 35 °C y una humedad relativa del 95%. La humedad relativa es una medida de la proporción de

PENTA®

Handling your future

- ✓ **P**RECISE
- ✓ **E**NGINEERED
- ✓ **N**EXUS
- ✓ **T**RUST WORTHY
- ✓ **A**MBITIOUS

CONTACT US    

 www.penta-automazioni.it / www.pentaus.us

 sales@penta-automazioni.it / sales@pentaus.us

vapor de agua en el aire. Con una humedad relativa del 100%, el aire está saturado de vapor de agua y no se puede absorber más vapor de agua.

Cuando los productos frescos entran en la cámara de curado desde la nave de producción, existe una gran diferencia de temperatura entre los productos y el aire ambiente de la cámara de curado. Los productos tienen una temperatura de unos 15 °C, el aire ambiente de la cámara de curado tiene una temperatura de 35 °C. Esta diferencia de temperatura hace que descienda la temperatura del aire que entra en contacto con la superficie del bloque.

La humedad relativa en la cámara de curado es del 95 %. Esto significa que el aire de la cámara de curado ya está casi saturado de vapor de agua. Cuando la temperatura del aire en la superficie desciende, el punto de rocío del aire también desciende. El punto de rocío es la temperatura a la que se condensa el vapor de agua.

La combinación de difusión y condensación provoca una carbonatación rápida y uniforme de la superficie de los bloques de hormigón.

Comparación de las cantidades de agua de 1 m³ de aire

Temperatura	Humedad relativa	Humedad absoluta
15 °C	95%	12,45 g/m³
35 °C	95%	37,6 g/m³

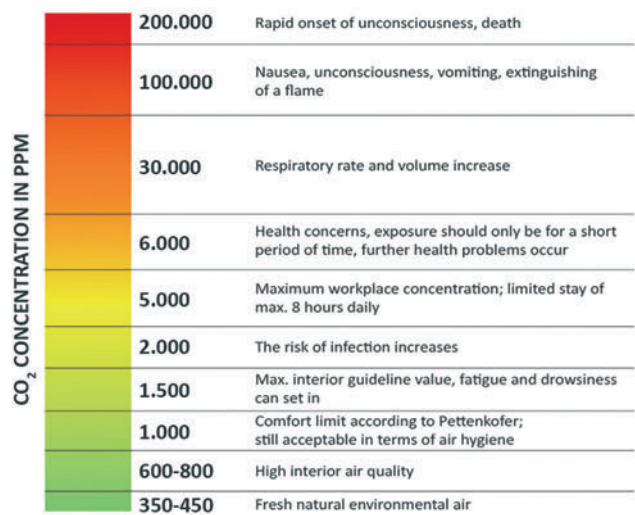
La humedad relativa indica la cantidad de vapor de agua presente en el aire en comparación con la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener a la temperatura respectiva. Con una humedad relativa del 95 %, el aire ya está casi saturado de vapor de agua.

- A una temperatura de 15 °C, 1 m³ de aire con una humedad relativa del 95 % tiene, por tanto, una humedad absoluta de 12,45 g/m³.
- A una temperatura de 35 °C, 1 m³ de aire con una humedad relativa del 95 % tiene, por tanto, una humedad absoluta de 37,6 g/m³.

La comparación muestra que 1 m³ de aire a una temperatura de 35 °C puede contener mucha más agua que a una temperatura de 15 °C. En el ejemplo de la planta de bloques de hormigón, los productos más fríos entran en la cámara y el aire casi completamente saturado que entra en contacto con la superficie de los productos ya no puede absorber la cantidad de humedad, lo que provoca la formación de condensación en el producto.

Contenidos de CO₂ y su influencia en el cuerpo humano

El dióxido de carbono (CO₂) es un componente natural del aire. La concentración normal de CO₂ en la atmósfera terres-



La Agencia Federal de Medio Ambiente recomienda dejar entrar aire fresco del exterior en la habitación en cuanto se supere un valor de 1000 ppm de CO₂.

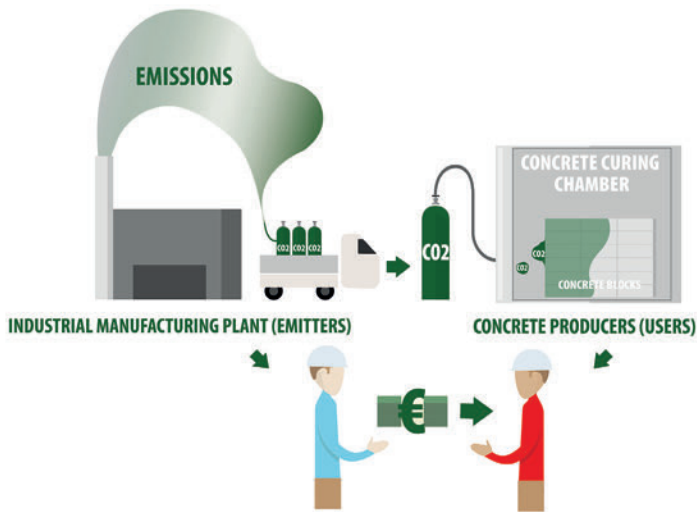
tre es de unas 400 ppm (partes por millón), es decir, alrededor del 0,04%. La Agencia Federal de Medio Ambiente recomienda dejar entrar aire fresco del exterior en la habitación en cuanto se supere un valor de 1000 ppm de CO₂. La llamada concentración máxima en el lugar de trabajo en espacios cerrados, también conocida como valor MAK en alemán, es de algo menos de 5000 ppm, y eso para una estancia de 8 horas. Estos datos se proporcionan para entender mejor los valores y para que sean más tangibles.

A una concentración de CO₂ de 1000 ppm, se pueden experimentar síntomas leves como dolores de cabeza, cansancio y dificultad para concentrarse. A una concentración de CO₂ de 5000 ppm, pueden aparecer síntomas como mareos, náuseas, vómitos y dificultades respiratorias. Una concentración de CO₂ superior a 10.000 ppm puede provocar la inconsciencia y la muerte. Los efectos sobre el organismo aumentan con la duración de la estancia.

Un lugar de trabajo próximo a una cámara con un contenido de CO₂ elevado debe considerarse con precaución, en función de la concentración, ya que puede provocar problemas de salud. Sin embargo, el riesgo de exposición permanente a altas concentraciones de CO₂ en una nave es bajo, ya que el contenido de CO₂ en la nave suele estar al nivel del aire ambiente normal. La instalación de dispositivos de medición y sistemas de alerta adecuados es esencial en una planta de bloques de hormigón donde los productos se curan en una cámara con una alta concentración de CO₂ para proteger la salud de los trabajadores.

Una visión con futuro

El curado de bloques de hormigón con CO₂ es un proceso prometedor. No sólo es bueno para mejorar la calidad de los propios bloques de hormigón, sino también para absorber el CO₂ de la atmósfera y ayudar así a combatir el cambio climático. Los elevados niveles de CO₂ en el ambiente de



Visión del comercio de emisiones en la industria del hormigón

curado aumentan la dureza y resistencia de los bloques, incrementan la estabilidad del color y ayudan a la profundidad de la carbonatación, lo que puede reducir significativamente la susceptibilidad a la eflorescencia.

Sin embargo, dado el estado actual, el curado con CO₂ debe seguir debatiéndose.

Las razones son las siguientes:

- La disponibilidad de CO₂ reciclado sigue siendo limitada. El CO₂ reciclado se obtiene de procesos industriales en los que se produce CO₂ como subproducto. Las capacidades de estos procesos aún no son suficientes para satisfacer la demanda de CO₂ reciclado para curar bloques de hormigón.
- Las tecnologías de filtrado y recogida del CO₂ reciclado deben mejorar significativamente. A menudo, el CO₂ reciclado aún contiene impurezas que pueden tener un efecto negativo. Por lo tanto, las tecnologías de filtrado y recogida deben seguir desarrollándose para que puedan eliminar eficazmente sustancias contaminantes.
- Además, hay que abordar la cuestión del transporte. El CO₂ reciclado se utiliza generalmente cerca de las fuentes donde se produce. No tiene sentido transportar CO₂ a través de largas distancias hasta las plantas de bloques de hormigón. Por lo tanto, la cuestión del transporte debe aclararse para que el CO₂ reciclado pueda utilizarse también en regiones con poca disponibilidad de CO₂.

A pesar de estos retos, el curado con CO₂ es una opción prometedora para el futuro. Si se consiguen soluciones para la disponibilidad de CO₂ reciclado, las tecnologías de filtrado y recogida y la cuestión del transporte, será posible producir bloques de hormigón que absorban bastante más CO₂ que antes. Esto supondría una importante contribución a la lucha contra el cambio climático y ayudaría a mejorar aún más la calidad de los bloques de hormigón.

PRENSAS VIBROCOMPRESORAS PARA PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Instalaciones completas:

- > Planta de hormigón.
- > Sistemas de **manutenición**.
- > **Paletización**.

Amplia gama de prensas fijas con bandejas de dimensión variable.



Esplitado, envejecido de adoquines, granallado, sistemas para el color, etc.

Soluciones integrales de alta tecnología y precisión



poyatos

Polígono Industrial Juncaril. PELIGROS (Granada). España.
Tlf: +34 958 46 69 90 Fax: +34 958 46 71 18 poyatos@poyatos.com

www.poyatos.com

MOULDS FOR WETCAST

For use on automated machinery.
Suitable for all machinery companies



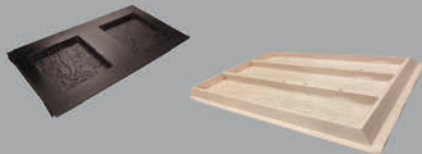
Heavy Duty Industrial 130x130 (5"x5") Post System for security fencing and boundary protection.



4m x 5"x4" Post & ABS Panels
For motorway noise barrier



Client manufacturing plant using
Coote Machinery with Numold moulds



ABS Paving moulds in Gang format & Polyurethane Multi set up for
Timber Sleeper. Both for use on automatic machinery



Timber Sleeper product used for flooring and walling

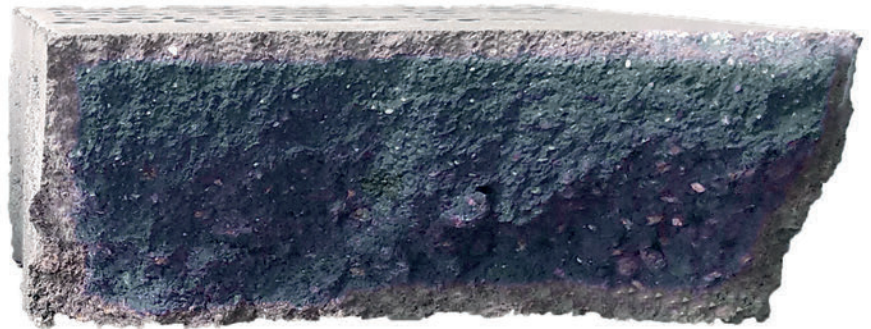


Double sided Random Rockface Post & Panel moulds
made in rigid polyurethane for steel gangs

NUMOLD

The Canalside, Merchants Road
Gloucester ENGLAND GL2 5RG
M: 0044 7917350505
E: sales@numold.com
W: www.numold.com

PRODUCTOS Y LOSAS DE HORMIGÓN



Profundidad de carbonatación significativamente mayor gracias a mayores cantidades de CO₂ en la cámara

Resumen

El curado de bloques de hormigón en modernas cámaras de curado tiene numerosas ventajas en comparación con el secado en un sistema de estanterías abierto en la nave. La cámara de curado garantiza un curado más uniforme, independientemente de la época del año. El curado puede acelerarse aplicando calor. La carbonatación potenciada es el método más moderno para curar bloques de hormigón y ofrece las mejores propiedades en cuanto a dureza, resistencia y durabilidad.

Los valores actuales de CO₂ en las cámaras de curado son demasiado bajos para lograr una absorción de CO₂ máxima de los bloques de hormigón. Las mediciones realizadas en sistemas de cámaras existentes demuestran que el potencial de absorción de CO₂ por parte de los bloques de hormigón es mucho mayor de lo que se suponía hasta ahora. Con una concentración óptima de CO₂ y el tiempo de curado correspondiente en la cámara, la absorción de CO₂ de los bloques de hormigón puede aumentarse considerablemente en el futuro.

El curado con CO₂ es un proceso con un gran potencial. La profundidad de carbonatación puede mejorarse significativamente con contenidos de CO₂ y fórmulas optimizadas. Además, las eflorescencias ya no deberían ser un problema con este proceso. Es sin duda una alternativa interesante a los procesos de curado convencionales. En este sentido, ya se están llevando a cabo diversas investigaciones y ensayos.

En próximas ediciones de PHi se informará en detalle de otras perspectivas y resultados de una prueba práctica. ■



Kraft Curing patrocinó la posibilidad de descarga gratuita del archivo pdf de este artículo para todos los lectores de PHi. Visite la página web www.cpi-worldwide.com/channels/kraft_curing o escanee el código QR con su smartphone para acceder directamente a esta página web.



MÁS INFORMACIÓN

KRAFT CURING
CONCRETE CURING SOLUTIONS - MADE IN GERMANY

Kraft Curing Systems GmbH
Mühlenberg 2, 49699 Lindern, Alemania
T +49 5957 96120
info@kraftcuring.com, www.kraftcuring.com