

MÉTODO PARA PRODUCIR CEMENTO CON UN AGENTE DE CURADO
INTEGRAL INCLUIDO EN EL MISMO Y EL USO DEL MISMO EN MATERIALES
BASADOS EN CEMENTO Y CEMENTO PRODUCIDO

5 **Campo de la invención**

La presente invención está relacionada con la producción de un cemento con un agente de curado integral que permitirá un proceso de curado potenciado y la reducción de los agrietamientos por contracción plásticos de mezclas de concreto y mortero producidas por la pérdida natural o acelerada de humedad en la superficie de los concretos y morteros.

Antecedentes de la invención

El concreto es con mucho el material de construcción utilizado más frecuentemente en el mundo. Se utiliza en todo tipo de climas, sitios y aplicaciones, lo que hace que se le demanden propiedades de comportamiento específicas para mantener estructuras y elementos en buenas condiciones en tales entornos. Uno de los usos principales de los concretos es en elementos de gran superficie expuestos a las condiciones ambientales, por ejemplo pavimentos para carreteras, estacionamientos, firmes, pisos, losas para suelos, canales de riego y construcción en general.

Estos elementos de concreto de gran superficie expuestos a las condiciones ambientales que combinan altas temperaturas, baja humedad y viento tienden a la pérdida rápida de humedad. Esto produce un cambio de volumen en la masa de concreto, lo cual genera contracciones plásticas locales que dan como resultado la aparición de fisuras o agrietamientos conocidos como agrietamientos por contracción plásticos.

Estos mecanismos tienen lugar cuando el concreto aún se encuentra en estado fresco y no ha desarrollado todavía la suficiente resistencia para soportar las tensiones provocadas por la contracción plástica debida al efecto de pérdida de humedad. Para evitar esta pérdida de humedad de la superficie de las mezclas de concreto o mortero es necesario garantizar el proceso de curado correcto y tomar medidas de precaución para minimizar los efectos de las condiciones ambientales.

El proceso de hidratación del cemento requiere un determinado contenido en agua para que tengan lugar las reacciones químicas y se evite el agrietamiento plástico, por lo que la retención de agua es esencial en este proceso. Un diseño de la

mezcla con el contenido en agua correcto dará como resultado un concreto o mortero con un buen desarrollo de resistencia a la compresión, así como un comportamiento en durabilidad satisfactorio. Sucederá lo contrario cuando se añade menos agua que el contenido requerido o existe pérdida de humedad.

5 En la práctica, se toman medidas para evitar que las superficies del concreto o mortero se sequen demasiado rápido de manera que se evite el desarrollo de grietas por contracción, relacionadas con los cambios de volumen entre zonas de diferente contenido en humedad o debido a la resistencia desarrollada hasta el momento.

 Regularmente para mantener la humedad en el concreto o mortero se lleva a
10 cabo un proceso de curado. Para ello se utilizan métodos superficiales como aspersión de agua, colocación de membranas impermeables y recubrimientos húmedos y/o protección de la superficie con elementos impermeables plásticos y algunos otros.

 Un método adicional que las nuevas tecnologías permiten es el curado interno, en el que el agua usada para curar el concreto proviene de la masa misma de
15 concreto en estado fresco. Algunos de estos métodos utilizan agregados ligeros porosos como las arcillas expandidas, perlita expandida o vermiculita, mientras que otros usan tierras de diatomeas y los más recientes usan compuestos de polímeros superabsorbentes capaces de absorber y retener agua en cantidad suficiente para funcionar como reserva de agua. Otras tecnologías utilizan materiales derivados de la
20 madera conocidos como materiales celulósicos los cuales también tienen la capacidad de absorber agua y servir como almacén de agua.

 Todos los materiales anteriormente mencionados se añaden normalmente en la mezcla final del concreto o mortero, donde se mezclan cemento, aditivos, agregados, arena y otras adiciones diversas junto con agua en una mezcladora, en dosificaciones
25 que dependen de las propiedades en estado fresco y finales del concreto o mortero diseñado.

 En el arte previo se conocen tales tecnologías. La patente de USA con el número 5.143.780 con fecha de 1 de septiembre de 1992 denominada *Hydrated fibrous mats for use in curing cement and concrete*, describe un método donde se
30 utilizan fibras de celulosa para formar un material el cual funciona como barrera para evitar la pérdida de humedad superficial en los concretos, manteniendo así el proceso de curado garantizando que hay el contenido en agua suficiente para llevar a cabo de manera eficiente las reacciones de hidratación del cemento.

En esta patente se sugiere el uso de un material fibroso como capa superficial a diferencia de nuestra propuesta donde el material celulósico forma parte integral del cemento evitando así el uso de las barreras propuestas en la patente que se comenta.

La patente de USA con el número 20070246857 con fecha de 25 de octubre de 5 2007, denominada *Methods for internally curing cement-based materials and products made therefrom*, describe el uso de materiales derivados de la madera como materiales absorbentes de agua para el curado interno de productos basados en cemento. Menciona que dichos materiales, a los cuales llama materiales celulósicos, se pueden utilizar como fibras o pulverizados y son adicionados a la mezcla final de 10 componentes de concreto como un elemento adicional, es decir que el material celulósico se añade a la mezcla final del concreto.

Al integrar el agente de curado en el proceso de molienda de los componentes de cemento (moliéndolo junto con el clinker, yeso y aditivos restantes), se solucionará cualquier problema de homogeneidad en las mezclas de concreto y mortero. Esto no 15 puede garantizarse cuando los agentes de curado se dosifican por separado y se añaden a la mezcla de concreto final. Otra solicitud de patente de USA que se identifica con el número 20110073015 con fecha de 31 de marzo de 2011, denominada *Internally curing cement based materials*, menciona que utilizando materiales celulósicos se puede tener un curado interno de las mezclas de materiales 20 basadas en cemento. Dice que debe ser material celulósico blanqueado para evitar los efectos no deseados de la lignina en el desempeño de las mezclas y describe el proceso usado para el blanqueo de dicho material y también menciona que estos materiales se utilizan en la mezcla de los materiales, es decir que se utiliza en la parte final del mezclado como un componente de la misma.

25 Nada del arte previo sugiere procesar de manera ventajosa fibras de celulosa junto con el clinker durante una operación de molienda conjunta para producir un cemento que contiene una distribución homogénea de los agentes de curado interno (agentes de curado integrales).

La presente invención proporciona una solución novedosa ventajosa porque el 30 agente de curado integral forma parte de la composición del cemento, ya que se muele conjuntamente con los diversos componentes del cemento normal (clinker, yeso, otros aditivos minerales). El cemento de la invención (por ejemplo cemento Portland que contiene o no adiciones minerales como piedra caliza, cenizas volantes, escoria, etc.) se compone de componentes de reducción de la contracción o agentes de curado muy 35 bien distribuidos, lo que reduce las grietas por contracción plásticas que suceden de

manera natural durante el proceso de hidratación del cemento en su aplicación final como concreto o mortero. Esto proporciona un producto final de concreto o mortero con un agente de curado integral, distribuido homogéneamente, evitando por tanto el almacenamiento y la gestión de las mezclas de reducción o curado hasta su uso final en la mezcla de concreto o mortero. Con la molienda simultánea de todos los componentes convencionales del cemento y el agente de curado interno, se obtiene un comportamiento más estable y eficiente en el curado de la mezcla final de concreto.

Breve descripción de la invención.

El concreto es una de las mezclas basadas en cemento más utilizadas en la industria de la construcción. Se ha convertido en el principal material de construcción en el mundo, se utiliza para construir infraestructuras como son carreteras, puentes, recubrir túneles, también se utiliza en la construcción de viviendas, edificios e industrias. Todos estos usos significan diferentes características y diseños del mismo y para eso se utilizan diferentes componentes que en conjunto nos dan las características que se requieren para la utilización del concreto. Los componentes del concreto son cemento, grava, arena, agua y diferentes tipos de aditivos los cuales proporcionan diferentes características a los concretos.

El contenido en agua mínimo teórico con respecto a la cantidad de cemento en una aplicación de concreto es 25% en peso. Sin embargo normalmente se utiliza un contenido en agua en exceso para mejorar la trabajabilidad del concreto y para ser transportado y colocado adecuadamente. El agua en exceso conducirá a heterogeneidades del concreto final, segregación de la arena y los agregados y sangrado. El concreto para desarrollar el máximo de su desempeño requiere ser curado, es decir mantenerse húmedo el tiempo suficiente en el material para que desarrolle las propiedades de resistencia a la compresión y durabilidad. Un proceso deficiente de curado en condiciones de temperaturas extremas, baja humedad y alta velocidad de viento por ejemplo, llevará a una pérdida acelerada de humedad en la superficie del concreto y mezclas basadas en cemento, conduciendo a la aparición de grietas por contracción. Tales grietas aparecen en las primeras horas (entre 1 y 8 horas normalmente) y posteriormente pueden llevar a problemas de durabilidad y a la pérdida del desempeño mecánico y finalmente tendrá mala apariencia, de modo que se rechazarán las aplicaciones arquitectónicas.

La presente invención es un método de curado para producir cemento con un agente de curado integral incluido en el mismo, que comprende: moler de manera

conjunta los componentes del cemento, el agente de curado integral y aditivos tensioactivos; dosificar el agente de curado integral húmedo para evitar el procesamiento previo del mismo y ayudar a controlar la temperatura del proceso de molienda y permitir el curado interno de la mezcla resultante basada en cemento, lo que reduce las grietas plásticas.

En un aspecto preferido de la invención, el agente de curado integral dosificado húmedo se alimenta en una proporción de 0,05 a 10% del peso total de los componentes del cemento, preferentemente entre 1 y 5%.

En un aspecto preferido, el agente de curado integral dosificado húmedo contiene fibras de celulosa, normalmente un subproducto del proceso de reciclado de papel. En aún otro aspecto preferido, el agente de curado está compuesto por un contenido en agua de 40 a 70% y de 30 a 60% de sólidos de celulosa (base húmeda). En un aspecto más preferido, el agente de curado integral dosificado húmedo se muele de manera conjunta con los componentes del cemento a la finura de control de producción de cemento, normalmente entre 85 y 100% de tamaño de grano menor a 44 micras, para garantizar un comportamiento homogéneo, un proceso de curado estable y para evitar que se segreguen partículas más grandes.

En otro aspecto preferido del método de la invención, los aditivos tensioactivos utilizados para dispersar las fibras comprenden al menos uno de los productos químicos seleccionados del grupo que consiste en fostato de triisobutilo, polipropilenglicol, productos de aceite de silicona, polidimetilsiloxano y aceites minerales. Incluso más preferentemente, la dosificación de los aditivos utilizados para dispersar las partículas del agente de curado integral es entre 0,1 y 1% en peso del peso total de los componentes del cemento.

La presente invención proporciona un método para producir cemento con capacidad de curado integral para mezclas basadas en concreto, morteros y otras basadas en cemento, de manera tal que se optimiza el proceso minimizando la necesidad de curado externo, utilizando un agente de curado integral que se incorpora durante el proceso de molienda, moliéndolo de manera conjunta con los constituyentes del cemento (clinker, yeso, aditivos minerales, cargas, etc.). En otras palabras, el agente de curado formará parte de los componentes utilizados para producir el cemento, diferenciándolo del arte previo, donde los materiales absorbentes se utilizan en las mezclas de concreto finales. El agente de curado integral puede consistir principalmente en subproducto del proceso de reciclado de la industria papelera. Este subproducto procede del último filtrado del proceso de destintado de papel y, tal como

se menciona, contiene de 30 a 60% de contenido en sólidos. El contenido en sólidos se compone principalmente en promedio de 50% en peso de fibras de celulosa y 50% en peso de componentes minerales (carbonato de calcio y/o caolinita).

5 La invención proporciona un método novedoso para usar este material de subproducto como agente de curado integral para reducir significativamente las grietas por contracción plásticas, puesto que el agente funciona como fuente interna de humedad y para mitigar cualquier pérdida acelerada de humedad en entornos donde existe una combinación de temperatura, humedad y viento para producir una tasa de evaporación de al menos 1 kg/m²/h.

10 La invención describe un método de curado para elementos de concreto que garantiza un proceso de hidratación eficaz en cemento, es curado integral que consiste en el uso de un material con características de absorción de agua, adecuado para mantener la humedad en el concreto final en la totalidad de los procesos de desarrollo de fraguado y resistencia.

15 En el proceso de molienda, las temperaturas internas alcanzan a menudo hasta 150°C, requiriendo el uso de o bien agua o bien, en este caso, el agente de curado con el contenido en humedad mencionado. Esta humedad protegerá las fibras del agente de curado, evitando así que se descomponga por la temperatura y pierda las propiedades de absorción de agua deseadas. Esta humedad también es importante
20 para controlar las condiciones de molienda (disminuir la temperatura durante el proceso). Si se requiere, puede usarse agua de inyección adicional.

El porcentaje de humedad se calcula para cada lote recibido según se describe en la norma ISO 638:2008, que especifica un método de secado en horno para determinar la materia seca en materiales de papel, incluyendo pasta/fibra.

25 Si la humedad en el agente de curado se encuentra fuera de los valores reivindicados, el material simplemente se desecha para su uso.

El contenido en agua de selección de la pasta de papel de desecho de la industria papelera se selecciona entre el 40% y el 70%, de modo que los parámetros de proceso del molino de clinker no se vean afectados (rotación, velocidad, inclinación,
30 tiempo, parámetros de proceso de los clasificadores, etc.) no modificando por tanto las características del cemento producido (finura, superficie específica, etc.). El intervalo seleccionado también proporciona capacidad de maniobra de modo que pueden producirse diferentes cementos (utilizando diferentes parámetros de proceso de molino) a partir del mismo lodo de papel.

Este material se utiliza en el proceso de molienda conjunta del cemento, es decir se alimenta al molino a la vez del clinker, el yeso y otros aditivos permitidos por las normativas de calidad de los cementos. La dosificación que se utiliza del agente de curado integral (producido en el proceso de destintado en la industria del papel) puede modificarse en función de la cantidad de agente de curado integral que se requiera alcanzar en el cemento cuando se utilice en la mezcla del concreto.

El agente de curado se mantiene en almacenamiento antes de su uso, por ejemplo, en el interior de depósitos. La dosificación del agente de curado integral se realiza por medio de alimentadores de peso convencionales y se transporta a la etapa de molienda usando cintas transportadoras o cualquier otro sistema de transporte adecuado.

No es necesaria la molienda previa del material; por tanto, puede utilizarse tal como se recibe e incorporarse en el proceso de molienda directamente, en cualquier tipo de molino utilizado en el proceso de producción de cemento (por ejemplo, un molino de bolas o un molino vertical).

Para mantener de manera correcta la dispersión de la celulosa y el contenido inorgánico del agente de curado en el cemento se utilizan mezclas de tensioactivos, los cuales pueden ser seleccionados entre los siguientes productos químicos: fosfato de triisobutilo, polipropilenglicol, aceites de silicona, aceites minerales y siloxanos. Las mezclas de tensioactivos se utilizan en una dosificación que varía entre 0,01% y 1% en peso del peso total de los componentes del cemento dependiendo de su efectividad y compatibilidad con el cemento y el agente de curado integral. Estos aditivos se dosifican también durante el proceso de molienda conjunta, (producción del cemento).

Como resultado de la utilización del agente de curado integral se obtiene un cemento que dará a los concretos y otras mezclas basadas en cemento propiedades de autocurado interno y una disminución en las grietas por contracción plásticas provocadas por la pérdida acelerada de humedad en la superficie del concreto o morteros. Los componentes del agente de curado integral actúan como reservas de humedad, lo que ayudará al desarrollo del proceso de hidratación del cemento y a evitar que la superficie del concreto se seque de manera prematura.

La variable que se utiliza para saber si el proceso de curado integral es eficiente es la disminución de las grietas por contracción plásticas producidas por la pérdida acelerada de humedad en la superficie de los elementos de concreto o mezclas de materiales basadas en cemento. Se mide como el porcentaje de disminución del área agrietada en pruebas comparativas y el método para tomar estas

mediciones es el descrito en el documento técnico del ACI materials journal No. 97-M50, mediante el cual se simulan condiciones ambientales extremas. En estas condiciones extremas simuladas, se mantiene una tasa de evaporación de humedad mayor a 1 kg/m²-h.

5 Utilizando este método para diferentes tamaños de losas, pudo demostrarse que los concretos fabricados con el cemento que contiene el agente de curado integral alcanzan hasta un 100% de reducción de las grietas por contracción plásticas respecto a los concretos que son elaborados con tipos convencionales de cementos (cementos que no contienen agente de curado integral).

10 Las pruebas mostradas en los siguientes ejemplos 1-5 muestran que en efecto se reducen las fisuras o grietas plásticas, y muestran además que con dosificaciones mayores al 10% de agente de curado integral aumenta significativamente el porcentaje de aire incluido en el concreto, lo cual afecta al desempeño (resistencia a la compresión) de las mezclas de concreto finales con el cemento según la invención. En
15 el intervalo de 1 a 5% de agente de curado integral, no se producen cambios significativos en el desempeño respecto a la disminución de grietas.

 Es importante hacer hincapié en que el agente de curado integral se incorpora en cemento durante la molienda conjunta de los componentes que componen el cemento (clinker, yeso, otras adiciones, cargas, etc.) obteniéndose por tanto una
20 manera mucho más efectiva de homogeneizar que la obtenida utilizando métodos tradicionales donde se añaden todos los componentes a la mezcla de concreto final. Utilizando la dosificación correcta de material para la molienda conjunta, es posible obtener un producto capaz de facilitar el proceso de curado, puesto que el agente de curado funciona como almacén de agua interno que proporciona a la superficie del
25 concreto o mortero humedad que se pierde cuando la superficie está en contacto con las condiciones ambientales.

 Debe observarse que la parte de celulosa y la carga orgánica contenidas en el subproducto procedente de la industria papelera junto con los materiales de cemento, se reduce en tamaño a un tamaño de partícula máximo de 45 micras (confirmado
30 mediante un análisis de distribución del tamaño de partícula) y se distribuye de manera homogénea por la totalidad de toda la masa de concreto o mortero una vez que el cemento según la invención se utiliza para producir los productos finales. Esta homogeneidad permite que las fibras de celulosa molidas y reducidas en tamaño funcionen de manera más efectiva como reserva de agua en comparación con las

fibras no procesadas añadidas directamente en el mezclado final de componentes de concreto o mortero.

La principal ventaja del cemento según la invención es proporcionar cemento en bolsas que ya contienen aditivos de curado interno (fibras de celulosa). Los usuarios no necesitan comprar agentes de curado especiales que han de añadirse en el mezclado final con agua y/o agregados.

Una ventaja adicional de producir cemento utilizando un agente de curado integral con propiedades de autocurado, lo cual reduce las grietas por contracción plásticas hasta en un 100%, es que también elimina la necesidad de equipos adicionales en plantas de concreto, puesto que no se requiere ningún silo, sistema de dosificación ni otros equipos para manipular los materiales de curado añadidos durante la elaboración del concreto.

El cemento con un agente de curado integral incluido en el mismo es compatible con los aditivos utilizados comúnmente para elaborar concreto, tales como agentes de reducción de agua, plastificantes, acelerantes y retardantes, etc. que se añaden durante el mezclado final con agua y arena y/o agregados. También es compatible con otros aditivos, que pueden utilizarse en el cemento durante la molienda del clinker (agentes repelentes de agua, agentes de reducción de agua, plastificantes, etc.).

Figuras

Figura 1: Imagen de las losas tras 4 horas de exposición a las condiciones ambientales. La parte superior muestra el cemento con el agente de curado integral en un aspecto de alta humedad, mientras que la parte inferior, muestra el cemento de referencia, con un cemento evidente que ha retenido menos agua a lo largo de una exposición de 6 horas al túnel de viento.

(a) Cemento con agente de curado integral,

(b) Cemento sin agente de curado integral, que presenta múltiples grietas,

(c) Túnel de viento utilizado en las pruebas de laboratorio para condiciones de secado simuladas,

(d) Vista de un par de barras de concreto expuestas al túnel de viento.

Ejemplos

Los siguientes ejemplos son pruebas realizadas para determinar la disminución del agrietamiento por contracción plástico en elementos de concreto colados, proporcionadas con el fin de mostrar la presente invención de manera ilustrativa aunque no limitativa.

Ejemplo 1

Se utiliza el túnel de viento según el método del documento técnico del ACI, y en el que se hace una comparativa de un cemento sin agente de curado integral denominado CPC 30R bajo la norma mexicana NMX C-414 ONNCCE, utilizando agregados de la cd. de México (grava y arena). En la tabla 1, se indican las condiciones del túnel simulando condiciones ambientales extremas. Estas condiciones simulan condiciones ambientales extremas que dan como resultado una tasa de evaporación de 1,9 kg/m²-h, bajo estas condiciones la reducción de las grietas por contracción plásticas en el elemento de concreto que contiene el agente de curado integral es de 64%, al disminuir de 77 mm² de área agrietada a 22,5 mm².

Tabla 1: Resultados de prueba para el ejemplo 1.

El cemento utilizado en el ejemplo 1 tiene la siguiente composición:

Agente de curado integral – 1,0% en peso.

Agente dispersante (polipropilenglicol) – 0,07% en peso.

Finura del cemento - 96% menor a 44 micras.

La humedad del agente de curado integral utilizado para producir el cemento - 60%.

Tabla 1

	Referencia de CPC 30R		Cemento CPC 30R con agente de curado integral
Consumo de cemento	kg/m ³		300
Relación grava:arena			1,5
Reducción de tamaño	cm		18 ± 1
Origen de agregados			CD México
Tamaño de barra	cm		110 x 5 x 10

Temperatura en entrada del túnel	°C	49	
Temperatura en salida del túnel	°C	47	
Tasa de evaporación	kg/h*m ²	1,9	
Velocidad del viento	km/h	5,6	
Área agrietada	mm ²	71,1	25,5
Reducción de agrietamiento plástico	%	---	64

Ejemplo 2

Se utiliza el túnel de viento según el método del documento técnico del ACI, en el que se hace una comparativa de un cemento sin agente de curado integral denominado CPC 30R bajo la norma mexicana NMX C-414 ONNCCE, utilizando agregados de la cd. de México (grava y arena). En la tabla 2, se indican las condiciones del túnel simulando condiciones ambientales extremas. Estas condiciones simulan condiciones ambientales extremas que dan como resultado una tasa de evaporación de 2,0 kg/m²-h, bajo estas condiciones la reducción de las grietas por contracción plásticas en el elemento de concreto que contiene el agente de curado integral es de 71,7%, al disminuir de 125 mm² de área agrietada a 35,4 mm². Los elementos de concreto se producen con una dosificación de 300 kg de cemento en ambos casos y con un contenido en agua suficiente para obtener una reducción de tamaño de 18 cm.

15

Tabla 2: Resultados de prueba para el ejemplo 2

El cemento utilizado en el ejemplo 2 tiene la siguiente composición:

Agente de curado integral – 7,5% en peso.

Agente dispersante (TIBP) – 0,01% en peso.

Finura del cemento - 97% menor a 44 micras.

La humedad del agente de curado integral utilizado para producir el cemento - 60%.

Tabla 2

	Referencia de CPC 30R		Cemento CPC 30R con agente de curado integral
Consumo de cemento	kg/m ³	300	
Relación grava:arena		1,5	

Reducción de tamaño	cm	18 ± 1	
Origen de agregados		México	
Tamaño de barra	cm	110 x 10 x 5	
Temperatura en entrada del túnel	°C	52	
Temperatura en salida del túnel	°C	45	
Tasa de evaporación	kg/h*m ²	2,0	
Velocidad del viento	km/h	6,9	
Área agrietada	mm ²	125,2	35,4
Reducción de agrietamiento plástico	%	---	71,7

Ejemplo 3.

Se utiliza el túnel de viento según el método del documento técnico del ACI, en el que se hace una comparativa de un cemento sin agente de curado integral denominado CPC 30R bajo la norma mexicana NMX C-414 ONNCCE, utilizando
5 agregados de la cd. de México (grava y arena). En la tabla 3, se indican las condiciones del túnel que simulan condiciones ambientales extremas. En la tabla 3, se indican las condiciones ambientales. Bajo estas condiciones el resultado obtenido en la reducción de las grietas por contracción plásticas en el elemento colado que
10 contiene el agente de curado integral es de 100%, al pasar de 369 mm² de área agrietada a cero mm². Las losas de concreto se elaboraron con una dosificación de 250 kg de cemento en ambos casos y con el contenido en agua suficiente para obtener una reducción de tamaño de 18 cm.

15 Tabla 3: Resultados de prueba del ejemplo 3

El cemento utilizado en el ejemplo 3 tiene la siguiente composición:

Agente de curado integral - 5,0% en peso

Agente dispersante (aceite mineral) - 0,050% en peso

Finura del cemento - 97% menor a 44 micras

20 La humedad del agente de curado integral utilizado en la producción del cemento fue de 60%.

Tabla 3			
	Referencia de CPC 30R		Cemento CPC 30R con agente de curado integral
Consumo de cemento	kg/m ³	250	
Relación grava:arena		1,0	
Reducción de tamaño	cm	18 ± 1	
Origen de agregados		Monterrey	
Tamaño de barra	cm	100 x 100 x 9	
Temperatura ambiente	°C	29	
Velocidad del viento	km/h	10	
Área agrietada	mm ²	369	0
Reducción de agrietamiento plástico	%	---	100

Ejemplo 4

Se utiliza el túnel de viento según el método del documento técnico del ACI, en el que se hace una comparativa de un cemento sin agente de curado integral denominado CPC 30R bajo la norma mexicana NMX C-414 ONNCCE, utilizando 5 agregados de la cd. de México (grava y arena). En la tabla 4, se indican las condiciones del túnel simulando condiciones ambientales extremas. Estas condiciones simulan condiciones ambientales extremas que dan como resultado una tasa de evaporación de 1,9 kg/m²-h, bajo estas condiciones la reducción de las grietas por 10 contracción plásticas en el elemento de concreto que contiene el agente de curado integral es de 82%, al disminuir de 108,2 mm² de área agrietada a 19,4 mm².

Tabla 4: Resultados de prueba para el ejemplo 4.

El cemento utilizado en el ejemplo 4 tiene la siguiente composición:

Agente de curado integral – 2,5% en peso.

Agente dispersante (polipropilenglicol) – 0,06% en peso.

Finura del cemento - 96% menor a 44 micras.

La humedad del agente de curado integral utilizado para producir el cemento - 50%.

Tabla 4			
	Referencia de CPC 30R		Cemento CPC 30R con agente de curado integral
Consumo de cemento	kg/m ³	300	
Relación grava:arena		1,5	
Reducción de tamaño	cm	18 ± 1	
Origen de agregados		CD México	
Tamaño de barra	cm	110 x 5 x 10	
Temperatura en entrada del túnel	°C	49	
Temperatura en salida del túnel	°C	47	
Tasa de evaporación	kg/h*m ²	1,9	
Velocidad del viento	km/h	5,6	
Área agrietada	mm ²	108,2	19,4
Reducción de agrietamiento plástico	%	---	82

Ejemplo 5

Se utiliza el túnel de viento según el método del documento técnico del ACI, en el que se hace una comparativa de un cemento sin agente de curado integral denominado CPC 30R bajo la norma mexicana NMX C-414 ONNCCE, utilizando agregados de Monterrey (grava y arena). En la tabla 5, se indican las condiciones del túnel que simulan condiciones ambientales extremas. En la tabla 5, se indican las condiciones ambientales. Bajo estas condiciones el resultado obtenido en la reducción de las grietas por contracción plásticas en el elemento colado que contiene cemento con el agente de curado integral es de 59%, al pasar de 285,2 mm² de área agrietada a 116,8 mm². Las losas de concreto se elaboraron con una dosificación de 250 kg de cemento en ambos casos y con el contenido en agua suficiente para obtener una reducción de tamaño de 18 cm.

Tabla 5: Resultados de prueba del ejemplo 5

El cemento utilizado en el ejemplo 5 tiene la siguiente composición:

Agente de curado integral - 2,0% en peso

Agente dispersante (aceite mineral) - 0,030% en peso

Finura del cemento - 97% menor a 44 micras

La humedad del agente de curado integral utilizado en la producción del cemento fue de 70%.

Tabla 5			
	Referencia de CPC 30R		Cemento CPC 30R con agente de curado integral
Consumo de cemento	kg/m ³	250	
Relación grava:arena		1,0	
Reducción de tamaño	cm	18 ± 1	
Origen de agregados		Monterrey	
Tamaño de barra	cm	100 x 100 x 9	
Temperatura ambiente	°C	29	
Velocidad del viento	km/h	10	
Área agrietada	mm ²	285,2	116,8
Reducción de agrietamiento plástico	%	---	59