

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 960 546**

51 Int. Cl.:

C04B 28/04 (2006.01)

C04B 111/10 (2006.01)

B28B 11/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.08.2019** **PCT/EP2019/025259**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.02.2021** **WO21023360**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.08.2019** **E 19758606 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2023** **EP 4010296**

54 Título: **Procedimiento para la producción de elementos prefabricados de hormigón, en particular las traviesas de ferrocarril**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.03.2024

73 Titular/es:

PAWLUK, JAROSLAW JERZY (100.0%)
Ul. Omankowskiej 11
44-105 Gliwice, PL

72 Inventor/es:

PAWLUK, JAROSLAW JERZY

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 960 546 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la producción de elementos prefabricados de hormigón, en particular las traviesas de ferrocarril

El objetivo de la invención es el procedimiento de producción de elementos prefabricados de hormigón, en particular traviesas de ferrocarril, hechas de hormigón pretensado basado en un cemento especial.

5 La introducción de la tecnología seca en la industria del cemento provocó un incremento del contenido de potasio en el cemento y, en consecuencia, la falta de durabilidad de la etringita durante el tratamiento térmico del hormigón, especialmente a temperaturas que superan los 70 °C. La falta de durabilidad de la etringita también se puede producir en elementos macizos de hormigón hechos de cemento con un alto calor de hidratación. La etringita es una fase que se forma rápidamente después de mezclar cemento con agua; lo que va acompañado de un incremento de volumen.

10 Si la pasta de cemento todavía es plástica en ese momento, la expansión ligada a la cristalización de etringita no provoca el agrietamiento del hormigón, porque los cambios de volumen solo producen la deformación del hormigón todavía plástico. Esto no produce esfuerzo de tracción y, por lo tanto, no se produce agrietamiento del hormigón. La situación es diferente cuando la etringita no es duradera en la fase inicial de fraguado del hormigón y se forma solo después de que el hormigón se ha endurecido. Este fenómeno se denomina "formación retardada de etringita" (DEF)

15 y normalmente da lugar a agrietamiento y, en consecuencia, una falta de resistencia al hielo del hormigón. En la década de 1980, la formación retardada de etringita destruyó millones de traviesas de ferrocarril en las traviesas de las líneas ferroviarias, especialmente en los Estados Unidos de América. Se determinó que los factores que provocaban la falta de durabilidad de la etringita eran: la temperatura y el contenido de compuestos de sodio y potasio solubles en agua. Para eliminar el fenómeno mencionado anteriormente, el contenido de sodio y potasio en el cemento se debe reducir a $\leq 0,6\%$ del equivalente de sodio, es decir (después de la conversión en óxidos), la suma de $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$, es decir, $\text{Na}_2\text{O}_e \leq 0,6\%$. A pesar de la reducción del contenido de sodio y potasio, todavía puede tener lugar una formación retardada de etringita en situaciones en las que se lleva a cabo un tratamiento térmico del hormigón, especialmente a una temperatura igual a o que supera los 70 °C. En este caso se debe tener en cuenta

20 adicionalmente el calor de hidratación del cemento, que es especialmente alto en los cementos de endurecimiento rápido. Esta es la causa precisa del agrietamiento que a veces se produce en elementos macizos de hormigón en los que el calor de hidratación del cemento provoca un incremento de la temperatura del hormigón, superando ese peligroso nivel. A principios de la década de 1970, un equipo de científicos estadounidenses encabezado por Stephen Brunauer desarrolló la composición del cemento (que se indica, por ejemplo, en el siguiente artículo: Odler I., Skalny J., Brunauer S., 6.ª ICCI, vol. II, pág. 30, Moscú 1974), lo que permitió reducir la proporción agua-cemento (a/c) en la pasta hasta un mínimo de 0,2 en el período en el que aún no se habían inventado los plastificantes. Esto incrementó la resistencia de la pasta y, por tanto, del hormigón. Puesto que en aquella época no se conocían los plastificantes, los investigadores siguieron buscando la composición del cemento que permitiera reducir la proporción agua-cemento y, por tanto, incrementar la resistencia del hormigón sin necesidad de añadirlos. El "cemento de Brunauer" nunca se llegó a fabricar porque los plastificantes se dieron a conocer poco después de su desarrollo. El uso de plastificantes

35 era mucho más sencillo que la producción de cemento especial. No se forma etringita en dicha pasta de cemento [mortero, hormigón] porque el cemento no contiene sulfatos; por lo tanto, es un efecto "accidental" de esta tecnología. El equipo de Brunauer nunca estuvo interesado en la formación retardada de etringita o incluso en la propia etringita. El problema de la formación retardada de etringita se produjo al menos diez años más tarde, en 1980. Para retardar la reacción del aluminato tricálcico con agua, el cemento libre de sulfatos contenía retardadores distintos de los sulfatos, lo que permitió obtener una buena consistencia de la pasta y, por tanto, del hormigón con una proporción a/c muy baja. También aseguró una alta resistencia del hormigón, que era el objetivo del trabajo de este equipo. El equipo de Brunauer aplicó carbonatos con alta solubilidad en agua, es decir, carbonatos de sodio y potasio. Sin embargo, la investigación llevada a cabo por el equipo de Brunauer no incluyó el tratamiento térmico del hormigón. Mientras tanto, el tratamiento térmico de los elementos prefabricados de hormigón es necesario en la tecnología de producción de

40 elementos de hormigón armado porque asegura la obtención de su resistencia suficiente en el menor tiempo posible para permitir que la tensión de la armadura pretensada se libere lo antes posible y, en consecuencia, posibilita la transferencia de esfuerzo de tensión del molde a los elementos prefabricados de hormigón pretensado. El tiempo de obtención de la resistencia mínima que posibilita liberar la tensión también determina la capacidad de la cadena de producción, por lo que el tratamiento térmico de los elementos prefabricados de hormigón pretensado y el acortamiento del tiempo de fraguado del hormigón es importante para las fábricas modernas de elementos prefabricados.

Una solicitud de patente alemana publicada con el n.º DE102008037171 (A1) describe el hormigón usado para fabricar, entre otros, traviesas de ferrocarril, con un contenido de cemento que es de al menos 400 kg/m³ y simultáneamente la proporción de masa de agua con respecto a masa de cemento es inferior a 0,4, mientras que el contenido de cemento es inferior a 550 kg/m³, el contenido de agregado plastificante es de 8 kg/m³ a 10 kg/m³, la porción de árido fino (tamaño de grano: hasta 4 mm) es de 750 kg/m³ a 850 kg/m³ y el contenido de árido grueso (tamaño de grano: de 8 mm a 16 mm) es de 900 kg/m³ a 1000 kg/m³. El árido grueso en la solución descrita proviene al menos parcialmente del reciclaje de hormigón, incluyendo el reciclaje de traviesas de hormigón usadas. El contenido de cemento preferible en el hormigón puede ser de 450-550 kg/m³ y el contenido de agua 135-220 kg/m³. La solución descrita también incluye los elementos hechos de una mezcla de hormigón con una composición indicada y aplicación

55 de hormigón autocompactante (SCC) para la fabricación de traviesas de ferrocarril armadas: después de colocar los cables de acero pretensado en un molde y rellenarlo con hormigón, se deja el molde durante un tiempo especificado de curado preliminar en la sala de producción, y después de esto se coloca en una cámara con una temperatura de

60

vapor incrementada que acelera el endurecimiento, y cuando el hormigón adquiere suficiente resistencia, el molde sale de la cámara y se libera la tensión de la armadura.

Una solicitud internacional publicada con el n.º WO2014165257(A1) y titulada "Composite railroad sleepers and methods of production and use thereof" describe el proceso de fabricación de traviesas de ferrocarril que consiste en la preparación de una mezcla de hormigón que contiene, entre otros, silicato de calcio natural (tamaño de partícula: de aproximadamente 1 µm a aproximadamente 100 µm), arena, áridos finos y gruesos, agua y agregados opcionales, mientras que después de rellenar los moldes de las traviesas de ferrocarril con la mezcla, se curan a una temperatura de 20 °C a aproximadamente 150 °C (el intervalo preferible es de 60-110 °C) durante de una a aproximadamente 80 horas (el intervalo preferible es de 20-60 horas). El proceso tiene lugar bajo una presión mayor a la presión atmosférica, hasta aproximadamente 60 psi (aproximadamente 4 atmósferas), en una atmósfera de vapor con una presión parcial que varía de un 40% a la saturación. Los moldes pueden estar equipados con cables de pretensado de acero.

Otra solicitud de patente n.º KR20140087268(A) "Concrete composition for PC tie comprising blast furnace slag" divulga una composición en la que el aglomerante comprende 400 - 500 kg/m³ de árido, 700 - 900 kg/m³ de árido fino, 920 - 1200 kg/m³ de árido grueso, 125 - 150 kg/m³ de agua, 4 - 5 kg/m³ de agregado, un 20 - 35% en peso de cemento Portland de acero bruto, un 1 - 20% en peso de cemento Portland normal y un 45 - 60% en peso de un aglutinante en polvo fino de escoria de alto horno. Dicho aglutinante en polvo fino de escoria de alto horno comprende 0,1 - 30 partes en peso de una escoria de desulfuración basada en 100 partes en peso de un aglutinante en polvo de escoria de alto horno. La composición del hormigón puede comprender además 30 - 70 kg/m³ de fibras de acero y de 0,1 a 10 partes en peso de yeso basado en 100 partes en peso del aglutinante de polvo fino de escoria de alto horno.

La literatura señala que el volumen y tiempo de aparición de la expansión relacionada con la formación retardada de etringita depende de la temperatura a la que se aplica el tratamiento térmico del hormigón (Wieker W., Herr R., Schubert H., Proc. Int. Coll. Corrosion of Cement Paste, 16-17 de noviembre, Cracovia 1994). La expansión se incrementa con la temperatura, sin embargo, durante el curado con vapor a baja presión, esto sucede hasta que la temperatura alcanza aproximadamente 90 °C, mientras que a una temperatura de aproximadamente 110 °C, la etringita se descompone en el proceso de autoclave y aparecen diversas fases en el hormigón, dependiendo de la concentración de hidróxido de sodio y potasio. También se señala que la actividad hidráulica del cemento influye en el volumen de expansión provocada por la formación retardada de etringita. La expansión es alta con cementos de endurecimiento rápido, mientras que la expansión se evita con cementos de escoria y cementos que contienen agregados de cenizas volantes de sílice o aditivos de puzolana (Kelham S.: 10.º ICCO Gotemburgo, v. IV, artículo 41V059, Gotemburgo 1997). Las soluciones ya conocidas no eliminan el problema de la formación retardada de etringita en la producción de elementos prefabricados de hormigón que usan mezclas de cemento de endurecimiento rápido, especialmente porque los elementos prefabricados se producen a una temperatura elevada (por encima de 50 °C), es decir, en condiciones que favorecen el fenómeno desfavorable mencionado anteriormente.

La materia objeto de la invención es un procedimiento para la producción de elementos prefabricados de hormigón, en particular traviesas de ferrocarril, hechas de hormigón pretensado, usando una mezcla con una composición especial y en las condiciones de proceso especificadas a continuación.

De acuerdo con el proceso de la presente invención, los elementos de hormigón están compuestos por una mezcla de hormigón que contiene cemento libre de sulfatos con la adición de carbonatos de sodio o potasio (de un 0,2% a un 4% en masa de cemento). La porción de cemento en 1 m³ de la mezcla es de 220 kg a 500 kg. Se añade la cantidad apropiada de agua a la mezcla, mientras que la proporción agua-cemento (a/c) preferible no debe superar 0,4. Simultáneamente, el contenido de sulfato en el cemento (expresado como SO₃) no supera un 0,5% en masa. A continuación, se añade a la mezcla la cantidad de un 0,5% a un 3% en masa de cemento de lignosulfonatos de calcio, sodio o potasio. El modo de realización ventajoso de la invención combina carbonato de potasio y lignosulfonato (por ejemplo, uno de sodio). También se puede añadir la adición de un 0,2% a un 3% en masa de cemento de fosfatos de sodio o potasio, como retardadores.

La mezcla de hormigón también contiene otros ingredientes necesarios, es decir, árido fino (por ejemplo, arena) y áridos gruesos y preferiblemente el plastificante, por ejemplo, el plastificante de policarboxilato.

Esto es importante para mantener el equilibrio entre los componentes que actúan como retardadores y aceleradores de la reacción de unión del cemento. La aceleración del proceso de maduración del hormigón es necesaria para acortar el ciclo de producción de los elementos prefabricados, sin embargo, también deben estar presentes retardadores en la mezcla para evitar un endurecimiento demasiado rápido, especialmente en la fase inicial después de que la mezcla se haya homogeneizado. Los sulfatos en el cemento actúan como retardadores, por lo que en el cemento libre de sulfatos se deben reemplazar por otro compuesto o compuestos. Los lignosulfonatos son plastificantes pero incluyen sacáridos que pueden actuar como retardadores de la hidratación; esto puede reemplazar al menos parcialmente los sulfatos ausentes. La función sustitutiva se realiza por los fosfatos o carbonatos de sodio o potasio.

Por otra parte, el proceso de acuerdo con la invención pretende acortar el ciclo de producción de elementos prefabricados. En este sentido es ventajoso usar cemento fino que tiene un área de superficie específica de 3900 cm²/g o mayor (determinada, por ejemplo, de acuerdo con el procedimiento de Blaine). Gracias a este atributo, los elementos

prefabricados de hormigón obtienen más rápidamente su resistencia mínima. Un área de superficie específica alta da como resultado el sellado de la microestructura del hormigón. La microestructura del cemento también se puede mejorar por la adición de un 5-8% de humo de sílice. Tanto el cemento fino con alta área de superficie específica como el humo de sílice incrementan la demanda de agua de la mezcla de hormigón, por lo tanto, mantener la proporción a/c preferible de 0,4 o menos requiere añadir una mayor cuota de plastificantes.

La mezcla se homogeneiza en una mezcladora especial y a continuación se forma un elemento prefabricado de hormigón rellenando un molde apropiado con la mezcla, mientras que el molde está equipado con cables de pretensado y los mantiene en estado de esfuerzo de tracción durante el periodo de curado del hormigón. En el proceso de producción de las traviesas de ferrocarril, los elementos de pretensado son normalmente cables de acero.

Las unidades prefabricadas en los moldes se someten a un tratamiento térmico en la cámara de curado en una atmósfera de vapor a una temperatura de 69 °C - 98 °C (el intervalo preferible es de 80 °C - 85 °C). Dicho intervalo de temperatura asegura una maduración del hormigón suficientemente rápida, acortando significativamente el proceso de endurecimiento de la mezcla de hormigón. El proceso también se puede realizar a mayores temperaturas, aunque se acelera principalmente por el calor de hidratación del cemento y la presión parcial de la atmósfera de vapor en la cámara de curado. Sin embargo, por encima de 85 °C la aceleración del endurecimiento ya no es significativa. Es preferible que antes del tratamiento térmico principal a la temperatura mencionada anteriormente de 69 °C - 98 °C los moldes con unidades prefabricadas se sometan a un pretratamiento a una temperatura de hasta 10 - 20 °C, que a continuación se incrementa gradualmente, de forma ventajosa, no más rápido que 30 °C por hora hasta que alcanza la temperatura objetivo de 69 °C - 98 °C y a continuación se sometan a la fase de tratamiento adecuada durante al menos 240 min. Después de lograr el valor objetivo (que no supera los 98 °C), se detiene el aumento de temperatura.

El tratamiento térmico tiene lugar en una atmósfera de humedad incrementada y bajo una presión mayor a un 40% de la presión de vapor saturado, mientras que el intervalo preferible es de un 80% - 100% de la presión de vapor saturado. Esto es necesario para garantizar la tasa de endurecimiento apropiada, teniendo en cuenta el hecho de que en el caso descrito se usa una mezcla de bajo contenido de agua, es decir, una mezcla de hormigón con una proporción agua/cemento baja, en comparación con los hormigones de cemento tradicionales.

El tratamiento térmico de los elementos prefabricados se puede llevar a cabo en un túnel especial o en cámaras de curado con vapor en las que se mantiene la temperatura y humedad mencionadas anteriormente.

El tiempo de proceso es de 240 min a 375 min (sin tiempo de enfriamiento) que depende de varios parámetros como la humedad, la temperatura de tratamiento y la temperatura inicial que tienen los elementos prefabricados antes de la fase de tratamiento adecuada. Cuanto mayor sea la temperatura inicial, más corto será el tiempo del proceso de tratamiento principal requerido para alcanzar la resistencia deseada. Normalmente, después de aproximadamente cuatro horas después de comenzar el tratamiento térmico de los elementos prefabricados, ya se obtiene en la mayoría de los casos la resistencia mínima a la compresión, lo que permite liberar la tensión de los elementos pretensados. Esa resistencia mínima depende de la fuerza de pretensado. Los valores requeridos por las normas varían entre países, pero la resistencia mínima estándar normalmente se encuentra dentro del intervalo de 45 MPa a 56 MPa. Dependiendo de las condiciones del proceso de curado del hormigón a partir del que se producen los elementos prefabricados, el tiempo necesario para obtener la resistencia apropiada puede ser un poco mayor. En uno de los modos de realización preferibles de la invención, el proceso comienza a una temperatura de 10 - 20 °C que a continuación aumenta 30 °C/1 h hasta el valor objetivo mínimo de 69 °C o más (pretratamiento). El tiempo adecuado de todo el proceso (incluyendo el pretratamiento y el tratamiento principal) será más de 300 min, pero la aplicación de la mezcla de acuerdo con la invención y dadas las condiciones de curado del hormigón garantizan que el tiempo en cuestión no superará los 375 min. Después de ese tiempo, los cables de tensión se pueden liberar; en consecuencia, el esfuerzo se transfiere del molde al elemento prefabricado de hormigón pretensado, que ya ha adquirido suficiente resistencia para mantener la estabilidad de la tensión. Los moldes rellenos de hormigón se pueden exponer directamente a la temperatura y humedad de trabajo, sin fase de pretratamiento. Esto permite acortar el tiempo de tratamiento al mínimo y, en consecuencia, acelerar la fase de producción. La temperatura de los moldes rellenos de hormigón puede ser mayor a 20 °C pero no debe superar los 28 °C.

La figura 1 presenta el gráfico de la curva de temperatura a lo largo del tiempo, incluyendo la fase de pretratamiento y enfriamiento. El pretratamiento comienza a una temperatura (a) en un intervalo de 10 - 20 °C, a continuación durante 2 horas (c) - (d) la temperatura aumenta no más rápido que 30 °C/h y alcanza una meseta entre 69 - 98 °C. El proceso continúa a dicha temperatura durante 2-3,5 h (d) - (e). A continuación, en las fases (e) - (f), se apaga el calentamiento y la temperatura desciende gradualmente durante aproximadamente 1 h.

La duración global de las etapas (a) - (e) se controla de modo que no se supere la duración máxima de 375 min, es decir, el proceso de acuerdo con la invención termina en la etapa (e).

Ejemplo 1

De acuerdo con un modo de realización de ejemplo de la invención, los elementos se producen como sigue. Los ingredientes secos (es decir, arena estándar de 0/2 mm, granito de 2/8 mm, granito de 8/16 mm y cemento libre de sulfatos) se colocan en la mezcladora y se mezclan durante 3 minutos. A continuación, se añade el agua con el

superplastificante y el proceso de mezcla se continúa durante otros tres 3 minutos. El contenido de ingredientes en la mezcla es como sigue (kg/m³):

Cemento libre de sulfatos CEM I 42,5 R	316 kg/m ³
Arena	616 kg/m ³
Árido de granito, 2-8 mm	590 kg/m ³
Árido de granito, 8-16 mm	880 kg/m ³
Agua	125 kg/m ³
Plastificante 'Dynamon NRG 1010' (Mapei)	3,4 kg/m ³
Carbonato de potasio (por ejemplo, de Brenntag, polvo de K ₂ CO ₃ al 99%)	5,3 kg/m ³
Lignosulfonato de potasio	6 kg/m ³

A continuación, la mezcla se coloca en un molde que ya está equipado con cables de pretensado tensados. La mezcla y el tacto del molde tiene lugar a una temperatura de aproximadamente 18 °C. La mezcla líquida se compacta en una mesa vibratoria en tres minutos. A continuación, los moldes rellenos de hormigón se colocan en una cámara de curado con vapor, donde la temperatura se incrementa del valor inicial de 18 °C a 80 °C a una tasa de 30 °/h y, por lo tanto, la temperatura se incrementa gradualmente y alcanza el valor objetivo de 80 °C después de dos horas y cuatro minutos; a continuación, el proceso continúa con el tratamiento principal de forma fluida y sin interrupciones. La atmósfera dentro de la cámara de curado con vapor es húmeda y el contenido de vapor expresado como humedad relativa supera un 80%. La temperatura en el interior del hormigón no se tiene que controlar y se puede incrementar incluso hasta 89 °C. El tratamiento térmico dura 4 h, pero después de aproximadamente 3 h, el sistema de calentamiento se apaga y, en consecuencia, la temperatura desciende durante la última hora y alcanza aproximadamente 50 °C después de aproximadamente 4 h. La tensión se libera después de que se completa el tratamiento térmico porque la resistencia a la compresión del hormigón en ese momento es de aproximadamente 50 MPa. Después de salir de la cámara de curado con vapor, los elementos deben permanecer en la sala durante aproximadamente 24 h porque no se deben exponer a la luz del sol durante dicho periodo y también se deben proteger de las heladas durante al menos tres días. Es preferible que los elementos se enfríen por sí solos durante el periodo mencionado anteriormente de aproximadamente 24 h después de su retirada de los moldes hasta alcanzar la temperatura ambiente (no inferior a 10 °C). Los elementos se curan en posición tumbada, sobre soportes adecuados.

Ejemplo 2

En el segundo modo de realización ejemplar de la invención, la mezcla seca se prepara a una temperatura de aproximadamente 28 °C. La mezcla seca incluye:

Cemento fino libre de sulfatos CEM I 52,5 R	330 kg/m ³
Árido de 0-2 mm	695 kg/m ³
Árido de 2-8 mm	462 kg/m ³
Árido de 8-16 mm	818 kg/m ³
Plastificante Premia 205 (de Chryso)	4 kg/m ³
Carbonato de sodio (de Brenntag NaCO ₃ al 99% en polvo)	10 kg/m ³
Lignosulfonato de calcio (solución líquida, 35% vol.)	4,5 kg/m ³
Humo de sílice	23 kg/m ³
Agua:	119 kg/m ³

Los componentes secos se mezclan intensamente durante 3 minutos; después de ese tiempo se añade agua con plastificante y lignosulfonato de calcio y se mezcla durante 3 minutos más hasta homogeneización. Consecutivamente, se rellenan los moldes con hormigón, se vibran y se colocan en la cámara de curado en la que la humedad relativa es de aproximadamente un 79% y en la que la temperatura se mantiene en un nivel de 75 °C. En este modo de realización no es necesario ningún pretratamiento. El tratamiento a la temperatura objetivo de 75 °C se continúa durante 270 minutos. Después de salir de la cámara de curado, los elementos prefabricados se enfrían durante aproximadamente 2 horas a una temperatura de 20 °C. Los elementos prefabricados después de dichos tratamientos deben tener una resistencia que supera 50 MPa.

La tecnología descrita también se puede usar para la producción de otros tipos de elementos prefabricados y pretensados, por ejemplo, postes de hormigón o estructuras de unión prefabricadas y vigas de suelo, etc.

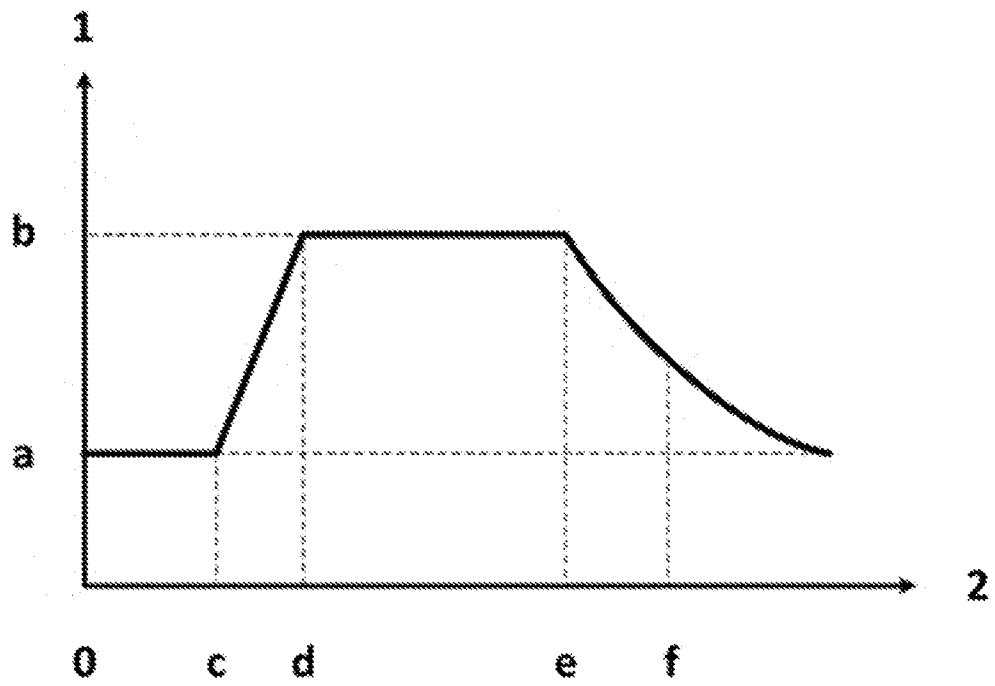
5 La aplicación de la invención acortará significativamente el tiempo de curado del hormigón y, por tanto, incrementará la capacidad de producción de las cadenas de producción de elementos prefabricados. El efecto en cuestión se obtiene en condiciones en las que se elimina por completo el fenómeno desfavorable de la formación retardada de etringita. Los elementos prefabricados producidos aplicando el procedimiento de acuerdo con la invención demuestran una resistencia de al menos 48 MPa, directamente después de finalizar el tratamiento térmico. Esto sucede a más tardar aproximadamente 5 h después del inicio del tratamiento térmico y, dependiendo de la composición de la mezcla, puede suceder tan pronto como 4 horas después del comienzo del proceso. Permite liberar la tensión del cable

10 inmediatamente después de completar el tratamiento, lo que mejora significativamente la eficacia de la cadena de producción. La aplicación de la invención es especialmente beneficiosa durante la fabricación de grandes cantidades de elementos prefabricados; esto se refiere a las traviesas de ferrocarril y a los postes y pilotes de hormigón pretensado, porque en su caso acortar el tiempo de curado de la mezcla está directamente ligado con la capacidad de producción de la cadena de prefabricación. Este tipo de productos tiene que cumplir requisitos en particular estrictos

15 en el ámbito de la resistencia y el cemento aplicado de acuerdo con la invención permite evitar cambios de volumen en el hormigón que provocan esfuerzo de tracción después del fraguado del cemento, cuando la mezcla ya no es plástica. En consecuencia, la solución descrita elimina el riesgo de formación de grietas en elementos prefabricados.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la producción de elementos prefabricados de hormigón hechos de hormigón pretensado, en el que
 - 5 - una mezcla que contiene 220 – 500 kg/m³ de cemento libre de sulfatos que tiene menos de un 0,5% en masa de sulfatos, expresados como SO₃, y un agregado de un 0,2% - 4% en masa de cemento de carbonatos o fosfatos de sodio o potasio y un 0,5% - 3% en masa de cemento de lignosulfonatos se homogeneiza en una mezcladora especial y a continuación
 - 10 - un elemento prefabricado de hormigón se forma rellenando un molde apropiado con la mezcla, mientras que el molde está equipado con cables de pretensado, como cables de acero, y los mantiene en un estado de esfuerzo de tracción durante el periodo de curado del hormigón
 - donde dichos elementos prefabricados en los moldes se someten a un tratamiento térmico en la cámara de curado en atmósfera de vapor a una temperatura de 69 - 98 °C durante un tiempo de 240 minutos a 375 minutos.
- 15 2. El procedimiento para la producción de elementos prefabricados de hormigón de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado por que los lignosulfonatos son lignosulfonatos de sodio o calcio.
3. El procedimiento para la producción de elementos prefabricados de hormigón de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado por que el área de superficie específica del cemento libre de sulfatos es mayor a 3900 cm²/g, de acuerdo con el procedimiento de Blaine.
- 20 4. El procedimiento para la producción de elementos prefabricados de hormigón de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2 caracterizado por que a la mezcla de hormigón se le añade un 5 - 8% en masa de cemento de humo de sílice.
- 25 5. El procedimiento para la producción de elementos prefabricados de hormigón de acuerdo con una de las reivindicaciones mencionadas anteriormente, caracterizado por que el tratamiento térmico de los elementos prefabricados en una atmósfera de vapor tiene lugar bajo una presión que oscila dentro del intervalo de un 80 - 100% de la presión de vapor saturado.
- 30 6. El procedimiento para la producción de elementos prefabricados de hormigón de acuerdo con una de las reivindicaciones mencionadas anteriormente, caracterizado por que el proceso de tratamiento térmico incluye un pretratamiento térmico y un tratamiento térmico principal; comenzando el pretratamiento a una temperatura de 10 – 20 °C, que a continuación se incrementa gradualmente a una tasa que no supera los 30 °C/h, alcanzando finalmente la temperatura de tratamiento térmico principal de 69 – 98 °C.
7. El procedimiento para la producción de elementos prefabricados de hormigón de acuerdo con una de las reivindicaciones mencionadas anteriormente, caracterizado por que el tratamiento térmico de los elementos prefabricados tiene lugar a una temperatura de 80 – 85 °C.
- 35 8. El procedimiento de producción de elementos prefabricados de acuerdo con una de las reivindicaciones mencionadas anteriormente, caracterizado por que después de la retirada de los moldes, los elementos se enfrían hasta alcanzar una temperatura no inferior a 10 °C y, a continuación, se curan a esa temperatura durante al menos 24 h.



$a = 10 - 28\text{ }^{\circ}\text{C}$

$b = 69 - 98\text{ }^{\circ}\text{C}$

$c - d = 2\text{ h}$

$d - e = 2 - 3,5\text{ h}$

$e - f = 1\text{ h}$

Fig. 1