

DESCRIPCIÓN

MÉTODO PARA PRODUCIR AGREGADOS DE MEZCLAS CEMENTOSAS NO SEDIMENTADAS

5

Campo de la invención

La presente invención se relaciona con un método para producir agregados a partir de mezclas cementosas no sedimentadas. Particularmente, la presente invención se relaciona con un método para preparar pellas con un tamaño de partícula predicho a partir de materiales cementosos fluidos, para usar en diversas aplicaciones, que incluyen, pero no se limitan a, la sustitución de agregados en mezclas de concreto para diversas funciones. Además, mediante este método, se pueden producir agregados con el tamaño de partícula predicho de cualquier tipo de mezclas cementosas no sedimentadas, por ejemplo de mezclas con alta fluidez, alto contenido de aglutinante, baja proporción de grava a arena y/o con alto contenido de aditivos.

Antecedentes de la invención

A diario, no se usa una cantidad significativa de concreto producido en una planta de concreto premezclado. Por ejemplo, los contratistas normalmente ordenan una cantidad adicional de concreto que la necesaria para el trabajo que se está haciendo en el momento, con el fin de tener en cuenta los contratiempos inesperados, por ejemplo, la escasez de concreto debido a errores en los cálculos. Cuando no se producen contratiempos, el concreto superfluo se devuelve a la planta, donde se recupera.

25

Otro ejemplo de concreto que se puede producir y no usar es cuando, por error, un producto se entrega a un cliente con un Diseño de la mezcla diferente al pedido, por lo que tiene propiedades diferentes a las solicitadas por el cliente, por ejemplo, menor resistencia que la requerida para el trabajo o baja retención de la capacidad de trabajo.

30

Otro ejemplo de concreto que no se puede usar y por lo tanto se devuelve a la planta es cuando, debido a un Diseño de la mezcla deficiente, durante la manipulación, el transporte y la colocación, la pasta de cemento y los agregados finos se separan de los agregados gruesos. Esto se llama segregación de concreto. Si ocurre durante el transporte, el concreto debe mezclarse apropiadamente antes de ser usado. Sin embargo, si el tiempo de configuración ya ha comenzado, entonces no se debe usar y se devuelve.

35

Si el concreto devuelto no se ha asentado todavía, se lava el tambor del camión de concreto premezclado, se retira el exceso de material y se usa en la producción de concreto. En caso de que el concreto devuelto ya se haya endurecido, se tritura y se reutiliza como agregado o en vertedero.

40

En cualquier caso, el concreto devuelto representa una pérdida para el fabricante de concreto, ya que es un producto que se ha fabricado y no se puede vender. Las empresas hacen todo lo posible para evitar el producto devuelto, por ejemplo implementando sistemas de GPS en camiones que están conectados a una estación central, de modo que el concreto puede ser redirigido inmediatamente una vez que cambia el pedido. Sin embargo, dicho método no es infalible y se están estudiando nuevas soluciones para abordar el problema.

45

Una solución para el concreto devuelto es su conversión en agregados.

50

El Modelo de Unidad Japonesa 3147832 se refiere al uso de un polímero que está encapsulado dentro de una bolsa soluble en agua. Cuando está en contacto con el concreto fluido, la bolsa de papel se disuelve y el polímero se dispersa dentro de la mezcla. Después

de aproximadamente 3 minutos bajo constante mezcla, el polímero absorbe parte del agua de concreto devuelto y se expande, incorporando los finos que existen en la mezcla, formando una especie de estructura de gel. Esta estructura luego cubre los agregados más gruesos, formando un material granular que se puede usar como material de la calzada.

5

El método divulgado en el documento JP 3147832 U no tiene la bolsa de papel como opcional. El presente método no necesita una bolsa de papel soluble en agua, lo que facilita su aplicación industrial. Además, el documento JP 3147832 U no divulga un método para predecir las propiedades del material granular obtenido, es decir, el tamaño de partícula, Los

10

Ángeles de las partículas producidas o el tiempo para producir las pellas, como lo hace el presente método.

El documento EP 2468695 también describe un método para reciclar concreto fresco no fraguado, que forma materiales granulares mediante la adición de dos componentes: un

15

acelerador de fraguado instantáneo y un polímero superabsorbente. El polímero actúa de manera similar a lo que se describe en el documento JP 3147832 U. Se dice que el acelerador de fraguado instantáneo reduce la porosidad de los materiales granulares finales, que reducen la absorción de agua y, en consecuencia, que mejoran las propiedades mecánicas de los materiales finales. Debido a esto, el documento EP 2468695 reivindica que los materiales

20

granulares obtenidos a través de su método pueden usarse como agregados en la industria de la construcción.

La presente invención evita el uso de un acelerador de fraguado instantáneo mientras usa una dosificación más alta de polímero superabsorbente que el documento EP 2468695. Esto

25

permite obtener materiales granulares con buenas propiedades mecánicas, como se ve en los ejemplos, que pueden usarse como agregados gruesos en nuevas mezclas de concreto fresco. El evitar el acelerador de fraguado instantáneo y el uso de solo un componente hace que la presente invención sea más fácil y más rentable para ser adoptada por la industria. Además, el documento EP 2468695 no muestra ninguna dirección sobre cómo predecir las

30

propiedades del material granular obtenido.

En conclusión, la técnica anterior no ha divulgado hasta ahora un método para producir agregados con un tamaño predecible y adaptado a diversas aplicaciones en el sector de la

35

industria de la construcción.

El problema que se va a resolver es proporcionar un método para reutilizar mezclas cementosas devueltas que normalmente serían eliminadas, para producir materiales que puedan usarse como agregados gruesos en mezclas de concreto fresco.

40

Descripción de la invención

La presente invención proporciona un método para producir agregados, que comprende los pasos de:

45

(a) añadir al menos un agente de transformación en pellas a una mezcla de cemento no sedimentada,

(b) mezclar constantemente la mezcla del paso (a) en una mezcladora para producir pellas,

(c) descargar las pellas obtenidas en el paso (b) y

50

(d) secar los gránulos formados en el paso (c), junto con el método de la invención.

Otra realización es el método de la invención, en el que dicho método es para producir agregados gruesos y en el que el método comprende los pasos de:

(a) añadir al menos un agente de transformación en pellas a una mezcla cementosa no sedimentada,
(b) mezclar constantemente la mezcla del paso (a) en una mezcladora para producir pellas,
(c) descargar las pellas obtenidas en el paso (b) para formar una pila,
5 (d) secar las pellas formadas en el paso (c) durante un tiempo de curado de t1 mínimo a t2 máximo que depende de la temperatura de curado de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$t1 = A \times e^{-0.047 \times T(^{\circ}\text{C})}$$

$$t2 = B \times e^{-0.047 \times T(^{\circ}\text{C})}$$

10 en las que A es un parámetro de 50 a 55, B es un parámetro de 75 a 80 y T (°C) representa la temperatura de curado en grados Celsius

y

(e) transformar la pila en un lecho de pellas secas.

15 Otra realización es el método de la invención, en el que el contenido activo de sólidos del agente de transformación en pellas está en una concentración en el intervalo de 0.2 a 10 kg/m³ con respecto a la mezcla cementosa no sedimentada, preferiblemente en el intervalo de 0.8 a 10 kg/m³ y más preferiblemente en el intervalo de 0.8 a 3 kg/m³.

20 Otra realización es el método de la invención, en el que el agente de transformación en pellas en el paso (a) se selecciona del grupo que consiste en celulosa, quitosano, colágeno, poliacrilamida y copolímeros de poliacrilamida y poliacrílicos, poliaminas, polivinilalcoholes, polisacáridos, ácido láctico, ácido metacrílico, metacrilato, hidroxietilo, etilen glicol, óxido de
25 etileno, ácido acrílico, floculantes inorgánicos y coagulantes inorgánicos

Otra realización es el método de la invención, en el que el agente de transformación en pellas está basado en acrilamida, preferiblemente un copolímero de monómeros de acrilato y acrilamida. Este componente ofrece las ventajas de ser efectivo, fácilmente disponible en el
30 mercado y no costoso.

Otra realización es el método de la invención, en el que la proporción de agua a cemento de dicha mezcla cementosa no sedimentada está entre 0.15 y 1.5.

35 La mezcla cementosa no sedimentada puede ser, por ejemplo, mortero o concreto. Preferiblemente, dicha mezcla cementosa tiene una consistencia seleccionada del grupo que consiste en S0, S1, S2, S3, S4 y S5, más preferiblemente una consistencia seleccionada del grupo de S2, S3, S4 o S5, ya que el método ha demostrado ser efectivo con mezclas cementosas altamente fluidas.

40 También el Concreto Autocompactado (SCC) puede usarse como mezclas cementosas no sedimentadas, con consistencias que van desde SF1 a SF3.

45 Las consistencias indicadas anteriormente son las consistencias de la prueba de asentamiento, de acuerdo con las tablas 3 y 6 del Estándar Europeo EN 206-2013.

50 La prueba de asentamiento de un concreto o mortero se lleva a cabo usando un cono de acero hueco de 300 mm de alto con asas, una barra de compactación de acero, una placa base de acero y una cinta métrica. El cono se coloca en la placa base con la abertura más pequeña en la parte superior. Se vierte concreto fresco (o mortero) en el cono a aproximadamente un cuarto de su profundidad (75 mm). Cuando el concreto (o mortero) es demasiado fluido, se extenderá inmediatamente sobre la placa base, incluso cuando el cono esté todavía en posición. En este caso, la prueba de asentamiento se lleva a cabo con la abertura más pequeña en la parte inferior (cono invertido).

La capa de concreto (o mortero) se compacta 25 veces. Después, se agrega más concreto (o mortero) para llenar el cono a aproximadamente la mitad de su profundidad y, nuevamente, se compacta con 25 golpes. Finalmente, el cono se llena hasta la parte superior y se compacta de nuevo, usando el mismo procedimiento. El cono se levanta con cuidado y se coloca boca abajo junto a la pila de concreto, que se asentará o se "hundirá" ligeramente. La diferencia de nivel entre la parte superior del cono y la parte superior del concreto se mide, lo que provoca el asentamiento.

- 10 Las diferentes consistencias posibles se resumen en las Tablas 1 y 2, respectivamente para concreto y Concreto Autocompactado.

Tabla 1. Consistencia del concreto (Asentamiento)

EN 206-1		NF P 18-305	
Clase	Asentamiento [mm]	Consistencia	Asentamiento [mm]
S1	10 a 40	Rígido	0 a 40
S2	40 a 90	Plástico	50 a 90
S3	100 a 150	altamente plástico	100 a 150
S4	160 a 210	fluido	> 160
S5	> 220		

15

Tabla 2. Clases de flujo de asentamiento para SCC

Clase	Flujo de asentamiento probado de acuerdo con EN 12350-88 mm
SF1	550 a 650
SF2	660 a 750
SF3	760 a 850

- 20 La consistencia de la mezcla cementosa inicial en el paso (a) puede modificarse para facilitar la dispersión del agente de transformación en pellas. Por ejemplo, cuando la mezcla cementosa que se va a transformar en pellas tiene una consistencia S0, se puede agregar agua para que tenga más fluido antes de la transformación en pellas, cambiando su consistencia a un S2 o superior.

- 25 Preferiblemente, el asentamiento de la mezcla cementosa inicial en el paso (a) es de S2 a SF3.

- 30 En el paso (b) del método de la invención, la mezcla se lleva a cabo preferiblemente a una velocidad de rotación de 12-15 rpm y entre 1 y 25 minutos, o hasta que la totalidad del material inicial finamente dividido se aglomera en forma de pellas de concreto de forma esférica. Este tiempo puede extenderse optimizando la cantidad de agente de transformación en pellas agregado de acuerdo con el tipo de concreto usado - por ejemplo, un concreto con mayor fluidez necesitará una mayor cantidad de agente de transformación en pellas para extender el período en el que toda la mezcla cementosa se transforma en pellas. Cualquier mezclador
- 35 puede usarse para mezclar los ingredientes, por ejemplo, transformadores de pellas de disco, mezcladores de paletas, transformadores de pellas de tambor, agentes de aglomeración de mezcla de perno, mezcladores de cinta, mezcladores de paleta individuales, mezclador planetario o incluso un molino de barro o el tambor rotatorio de un camión de concreto tradicional.

40

- Reducir el tiempo de mezcla dentro de la duración de mezcla de 1-25 minutos tiene la ventaja de reducir el consumo de energía del mezclador, mientras que aumentar la duración mínima de 1 minuto a 4 minutos reduce el riesgo de tener material no transformado en pellas. Por lo tanto, más preferiblemente, el tiempo de mezclado se seleccionará para que esté entre 4 y 15 minutos.
- Por lo tanto, en el paso (b) del método de la invención, la mezcla se lleva a cabo preferiblemente durante 4 a 15 minutos y más preferiblemente durante 5 a 15 minutos.
- Las pellas obtenidas por el método de la invención se vierten fuera del mezclador en el paso (c) formando una pila y se dejan secar durante un tiempo t . Este tiempo t de secado también se denomina tiempo de endurecimiento o tiempo de curado. El tiempo de secado t tiene un valor mínimo de t_1 que depende de la temperatura de curado y de una duración máxima t_2 que también depende de la temperatura de curado - véase la Figura 3.
- Las pellas pueden secarse al aire o usando un horno, a cualquier humedad y a una temperatura no superior a 100°C, preferiblemente las pellas se deben secar a una temperatura entre -10°C y 100°C. Naturalmente, la longitud del paso de secado debe ajustarse de acuerdo con la temperatura a la que se están secando las pellas (véase el Ejemplo 1). Las pellas pueden estar expuestas a la precipitación, siempre que se dejen secar después. Las pellas también se pueden curar atomizando o rociando agua, para evitar la pérdida repentina de agua y el agrietamiento. Esto evita que la humedad de las pellas se evapore, lo que contribuye a la ganancia de resistencia de la pella final, que mejora sus propiedades para ser usadas como agregados.
- Durante el tiempo t de curado, las pellas no pueden manipularse antes de que se alcance la duración t_1 porque se desaglomeran debido a la falta de cohesión de las partículas dentro de las pellas. También, las pellas no pueden manipularse después de la duración t_2 ya que se mantendrán unidas debido a la alta cohesión entre las pellas y su uso ya que los agregados discretos ya no pueden ser efectivos, a menos que se use una operación mecánica adicional para romper los enlaces entre agregados, lo que es altamente ineficiente en términos de industrialización. Por "manipular" se hace referencia a mover manualmente o mecánicamente las pellas o el material granulado producido con el fin de almacenarlos o disponerlos en otra ubicación.
- De acuerdo con una realización preferida, la pila de pellas se transforma en un lecho horizontal de pellas tirando del material desde la pila, por ejemplo usando el balde de un cargador, para extender las pellas en el suelo. Esta acción de manipulación debe tener lugar entre la duración t_1 y t_2 (véase la Figura 3) y destruirá por corte los puentes que se forman entre las pellas individuales, evitando que las pellas comiencen a pegarse entre sí.
- Preferiblemente, la altura del lecho de las pellas curadas se selecciona para que sea inferior a 15 cm con el fin de minimizar el tiempo y el costo de transporte, mientras se asegura que se destruya la formación de enlaces entre las pellas.
- Una vez que la pila de pellas se ha transformado en un lecho de pellas, manualmente o mecánicamente, las pellas se pueden almacenar como agregados o usarse directamente en la producción de concreto fresco.
- El método de la invención es efectivo para cualquier tipo de mezcla cementosa, que incluye concreto o mortero devuelto o cualquier tipo de concreto o mortero que, por cualquier razón, no se puede usar pero aún es fluido y aún no se ha sedimentado completamente. Ejemplos de concreto que no se pueden colocar y por lo tanto se pueden usar en esta invención son concreto superfluo que no se ha usado en el lugar de trabajo, morteros o concretos que tienen

un Diseño de la mezcla incorrecto y por lo tanto no se usan, o concreto o morteros que han perdido su propiedades debido a un Diseño de la mezcla pobre (ejemplo, segregación).

5 La presente invención es adecuada para cualquier clase de mezclas cementosas, incluso mezclas cementosas con alta fluidez, alto contenido de aglutinante, baja proporción de grava a arena y/o con alto contenido de aditivos. También funciona en concreto segregado, una razón común para el retorno concreto.

10 Típicamente, 1 m³ de la mezcla cementosa fresca descrita en el paso (a) del método de la invención comprende 50-1000 kg de un aglutinante cementoso, dicho aglutinante cementoso comprende entre 40% a 100% de Cemento Portland Ordinario (OPC), más preferiblemente entre 50% y 100% de OPC, y materiales cementosos suplementarios, que incluyen pero no se limitan a, escoria, cenizas volantes, humo de sílice y puzolanas naturales. Además, la mezcla cementosa fresca descrita en el paso (a) también está compuesta de agregados, mientras que dichos agregados comprenden 30-95% (% en volumen) de agregados finos y 5-70% (% en volumen) de agregados gruesos. Además, la mezcla cementosa fresca descrita en el paso (a) también puede tener un superplastificante (por ejemplo en base a melamina, naftaleno, lignosulfonato o policarboxilatos) en un intervalo entre 0% a 3% (p/p de peso del material cementoso) y también 0- 2% (p/p de peso de material cementoso) de un retardante (por ejemplo, lignina, bórax, azúcares o ácidos tartáricos y sales). También se puede usar un agente estabilizante (normalmente un polisacárido, ácidos carboxílicos o sales de ácidos orgánicos que contienen fósforo), en una concentración que varía entre 0-2% (p/p de peso de material cementoso). La proporción de agua a cemento de dicha mezcla cementosa descrita en el paso (a) está entre 0.15 y 1.5. En algunos casos, la mezcla cementosa fresca descrita en el paso (a) también puede tener de 0 a 5% (p/p de peso de material cementoso) de agente autocurable y/o de 0 a 5% (p/p de peso de material cementante) de un agente de entrada de aire. También pueden estar presentes deformadores en la mezcla cementosa, de 0 a 0.5% (p/p de peso de material cementoso). Dicha mezcla cementosa también puede tener un acelerador, de 0 a 25% (p/p de peso de material cementoso). La presencia de otros aditivos minerales y/o fibras también es posible, ya que esta realización mejorará la dispersión y la unión de las fibras a la matriz. Los pigmentos también pueden estar presentes en la mezcla original, ya que no afectarán la formación del material transformado en pellas.

35 Todos los porcentajes anteriores son contenidos de sólidos activos.

Los agregados finales producidos por este método tienen buenas propiedades mecánicas, buena resistencia a la abrasión y la fragmentación, lo que está garantizado por los valores de Los Ángeles obtenidos para los agregados producidos, que nunca superan el valor 50.

40 La prueba de abrasión de Los Ángeles (L.A.) es un método para evaluar qué tan duro es un agregado y sus propiedades de abrasión. Estos son importantes porque los agregados deben resistir el aplastamiento, la degradación y la desintegración para garantizar la resistencia del futuro pavimento. El valor de L.A. se determina de acuerdo con AASHTO T 96 o ASTM C 131 y debe estar por debajo de 60.

45 De acuerdo con el método de la invención, los agregados formados por el método de la invención tienen un valor de Los Ángeles (de acuerdo con AASHTO T 96 o ASTM C 131) entre 15 y 50.

50 Las pellas obtenidas por el método de la invención se pueden usar como agregados en mezclas de concreto fresco, es decir, se pueden usar para sustituir parcialmente agregados gruesos en mezclas de concreto fresco, específicamente en agregados de 4/16 mm y 8/16 mm, dirigiéndose a una distribución del tamaño de partícula específico, monodispersa, de las pellas producidas, como se describirá más detalladamente. Dirigirse a un intervalo específico

de agregados producidos de acuerdo con el método de la invención aporta varias ventajas a las operaciones que usaran estas pellas como agregados gruesos, es decir, es más fácil para las operaciones adaptar los diseños de mezcla porque solo se produce un intervalo de agregados y por lo tanto, sustituido. Si no se tiene control en las pellas producidas, como sucede con los métodos descritos en la técnica anterior, es más difícil para las operaciones saber cómo construir los diseños de la mezcla, ya que las operaciones no saben qué tipo de agregados se producirán, en qué intervalos y en qué cantidades. Además, las pellas producidas de acuerdo con otros métodos, que tienen una distribución de tamaño de partícula aleatoria, deberán separarse primero de acuerdo con los tamaños, lo que no es atractivo para las operaciones de concreto premezclado, lo que terminará descartando el método de reciclaje de mezclas de concreto no sedimentado y use agregados gruesos normales.

La decisión de sustituir totalmente o parcialmente los agregados en mezclas de concreto fresco debe ser tomada por el constructor. Las propiedades de este concreto final son similares a las propiedades del concreto fresco con el mismo Diseño de la mezcla donde todos los agregados gruesos son los tradicionales que normalmente se usan en un Diseño de la mezcla típico. Por lo tanto, las propiedades del concreto final se pueden adaptar a un uso específico de la misma manera que un concreto tradicional, por ejemplo para aplicaciones estructurales.

Otra realización es el método de la invención, en el que los agregados obtenidos por el método de la invención se usan en construcciones arquitectónicas decorativas. Los pigmentos se pueden agregar a la mezcla en el paso (a) del método para cumplir este propósito; dichos pigmentos pueden ser orgánicos o inorgánicos y pueden agregarse en una concentración entre 0-100 kg/m³ de mezcla, dependiendo de la intensidad del color deseado para las pellas producidas.

Se observó que la sustitución de agregados gruesos por mezcla cementosa transformada en pellas en una mezcla de concreto no tiene un efecto negativo en la resistencia a la compresión a 1, 7 y 28 días, ni en la densidad a los 1, 7 y 28 días. Esto es mostrado en el Ejemplo 1.

Después del paso (e), se realiza una Distribución del Tamaño de Partícula a las pellas y se analizan tres pases de tamiz: 1) D_{10} , que es el tamaño del tamiz [mm] en el que el paso es 10%; 2) D_{90} , que es el tamaño del tamiz [mm] en el que el paso es del 90% y 3) D_{50} , que es el tamaño del tamiz [mm] en el que el paso es 50%. D_{90}/D_{10} puede calcularse, que es un índice monogranular.

De acuerdo con la realización de la invención, D_{90}/D_{10} está destinado a estar entre 2 y 10. Esto asegura que las pellas producidas sean monogranulares y puedan usarse para sustituir una fracción de agregados gruesos, que se define por D_{50} como se explicará.

D_{90}/D_{10} puede controlarse tanto a través del tiempo de mezcla como de la dosificación del agente de transformación en pellas.

La Figura 1 muestra la relación entre el agente de transformación en pellas añadido en el paso (a) y D_{90}/D_{10} .

La Figura 2 muestra la relación entre el tiempo de mezcla en el paso (b) y D_{90}/D_{10} .

Por lo tanto, se pueden ajustar estos parámetros con el fin de lograr una proporción D_{90}/D_{10} entre 2-10 que indica un índice monogranular.

Cuando se logra un D_{90}/D_{10} entre 2 y 10, se está seguro de que los agregados producidos corresponden a una sola fracción y con esta garantía, se puede medir D_{50} . D_{50} es el tamaño

de tamiz [mm] en el que el paso es 50%, por lo que D_{50} nos dice el tamaño principal de la fracción producida y qué fracción puede ser reemplazada. Más concretamente:

- 5 Si $4 < D_{50} < 8$, 4/8 mm agregados que se van a sustituir;
Si $8 < D_{50} < 11$, 8/11 mm agregados que se van a sustituir;
Si $11 < D_{50} < 16$, 11/16 mm agregados que se van a sustituir;

- 10 Si D_{50} cae entre un valor intermedio (4, 8, 11 o 16), entonces le corresponde al ejecutor de la invención elegir qué fracción sustituir, ya sea la fracción inferior o superior. Por ejemplo, si D_{50} es igual a 4, puede ya sea sustituirse la fracción de 0/4 mm o de 4/8 mm.

- 15 También se ha observado que el tiempo de transformación en pellas, es decir, el momento en el que se transforma en pellas toda la mezcla cementosa inicial en el paso (a), se puede retrasar añadiendo más agente de transformación en pellas en el paso (a). Por lo tanto, el tiempo de transformación en pellas puede retrasarse si es necesario, por ejemplo, si se produce un problema con el equipo y el método ya se ha iniciado, pero se debe retrasar durante algunos minutos.

- 20 También se ha observado que la dureza de las pellas obtenidas en el paso (b) se puede mejorar aumentando la dosificación del agente de transformación en pellas.

Lista de definiciones

- 25 Aglutinante hidráulico. Es un material con propiedades cementantes que fragua y endurece debido a la hidratación incluso bajo el agua. Los aglutinantes hidráulicos producen hidratos de silicato de calcio también conocidos como CSH.

- 30 Cemento. Es un aglutinante que fragua y endurece y reúne materiales. El cemento más común es el cemento Portland ordinario (OPC) y una serie de cementos de Portland mezclados con otros materiales cementosos.

- 35 Cemento Portland Ordinario. Cemento hidráulico hecho de trituration de clínker con yeso. El cemento Portland contiene fases de silicato de calcio, aluminato de calcio y ferroaluminato de calcio. Estas fases minerales reaccionan con el agua para producir resistencia.

- Hidratación. Es el mecanismo a través del cual OPC u otros materiales inorgánicos reaccionan con el agua para desarrollar resistencia. Se forman hidratos de silicato de calcio y otras especies como etringita, monosulfato, Portlandita, etc.

- 40 Adición mineral. Aditivos minerales (que incluyen los siguientes polvos: humo de sílice, cenizas volantes, escorias) agregados al concreto para mejorar las propiedades frescas, el desarrollo de la resistencia a la compresión y mejorar la durabilidad.

- 45 Humo de sílice. Fuente de silicio amorfo obtenido como un subproducto de la producción de aleación de silicio y ferrosilicio. También conocido como microsílíce.

Fibras. Material usado para aumentar el rendimiento estructural del concreto. Las fibras incluyen: fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas y fibras naturales.

- 50 Subproducto de silicato de aluminio (Cenizas volantes - cenizas de fondo). Componentes aglutinantes reactivos alcalinos que junto con el activador forman la pasta cementosa. Estos minerales son ricos en alúmina y sílice tanto en la estructura amorfa como en la cristalina.

- Pozzolan natural. Material de aluminosilicato de origen volcánico que reacciona con el hidróxido de calcio para producir hidratos de silicato de calcio o CSH como se conoce en la hidratación del cemento Portland.
- 5 Relleno inerte. Material que altera las propiedades físicas del concreto pero que no tiene lugar en la reacción de hidratación.
- Aditivos. Especies químicas usadas para modificar o mejorar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Estos pueden ser inclusores de aire, reductores de agua, retardantes de fraguado, superplastificantes y otros.
- 10 Silicato. Nombre genérico para una serie de compuestos con la fórmula $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$. Reactivo líquido usado como líquido alcalino cuando se mezcla con hidróxido de sodio. Usualmente es silicato de sodio, pero también puede comprender silicatos de potasio y litio.
- 15 La versión en polvo de este reactivo se conoce como metasilicatos y podría ser pentahidratos o nonahidratos. Los silicatos se denominan Activador 2 en ejemplos en esta aplicación.
- Dispersante inicial. Es un aditivo químico usado en composiciones de cemento hidráulico tal como el concreto de cemento Portland, parte del plastificante y la familia de los superplastificantes, que permiten una buena dispersión de las partículas de cemento durante la etapa de hidratación inicial.
- 20 Superplastificantes. Se relaciona con una clase de mezcla química usada en composiciones de cemento hidráulico tales como concreto de cemento Portland que tiene la capacidad de reducir altamente la demanda de agua mientras se mantiene una buena dispersión de partículas de cemento. En particular, los superplastificantes evitan la agregación de partículas y mejoran las propiedades reológicas y la capacidad de trabajo del cemento y el concreto en la etapa diferente de la reacción de hidratación.
- 25 Agregados gruesos. Minerales fabricados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula mayor a 8 mm y un tamaño máximo inferior a 32 mm.
- 30 Agregados finos. Minerales fabricados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula mayor a 4 mm y un tamaño máximo inferior a 8 mm.
- 35 Arena. Minerales manufacturados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula inferior a 4 mm.
- 40 Ingredientes de concreto. El concreto es principalmente una combinación de aglutinante hidráulico, arena, agregados finos y/o gruesos, agua. La mezcla también se puede agregar para proporcionar propiedades específicas tales como flujo, menor contenido de agua, aceleración, etc.
- 45 Capacidad de trabajo. La capacidad de trabajo de un material se mide con una prueba de asentamiento (ver a continuación).
- Retención de la capacidad de trabajo. Es la capacidad de una mezcla de mantener su capacidad de trabajo durante el tiempo. El tiempo total requerido depende de la aplicación y el transporte.
- 50 Pellas. Masa pequeña, redondeada, comprimida de sustancia, en el caso de la presente invención, de concreto devuelto.

Aglomerado. Reunir en una bola, masa o grupo, en el caso de la presente invención, para agrupar en pellas.

5 Desarrollo de la resistencia – fraguado/endurecimiento. El tiempo de fraguado comienza cuando el material de construcción cambia de plástico a rígido. En la etapa rígida, el material ya no puede verterse o moverse más. Después de esta fase, el desarrollo de la resistencia corresponde al endurecimiento del material.

10 Consistencia del concreto. La consistencia refleja las propiedades reológicas del concreto fresco por medio del asentamiento tal como se define en la Tabla 1.

Breve descripción de las figuras

15 Figura 1. Relación entre el agente de transformación en pellas añadido en el paso (a) y D_{90}/D_{10} .

Figura 2. Relación entre el tiempo de mezcla en el paso (b) y D_{90}/D_{10} .

Figura 3. Tiempo de curado de pellas versus temperatura de curado ($^{\circ}\text{C}$).

20 Figura 4. PSD de las pellas obtenidas en el Ejemplo 6.

Ejemplos de la invención

Ejemplo 1

25 Para probar las características del concreto donde parte de sus agregados es sustituido por el material transformado en pellas, se realizaron pruebas de laboratorio. Primero, se simuló un concreto devuelto que tiene el siguiente Diseño de la mezcla:

30

Tabla 3 – Diseño de la mezcla del concreto devuelto

Material	Unidad	Mezcla 1
CEM I 52.5 R	kg/m ³	330
Cenizas volantes	kg/m ³	0
Relleno de piedra caliza	kg/m ³	0
Total de a/a	-	0.71
Efec de a/a	-	0.6
Arena 0/4 redonda	kg/m ³	807
Grava 4/8 triturada	kg/m ³	359
Grava 8/11 triturada	kg/m ³	609
Superplastificante	% en masa de cemento	1%
Retardante	% en masa de cemento	0.20%
Agente de transformación en pellas	kg/m ³	2.1

35 El flujo de asentamiento a los 5 minutos fue 680 mm (SF2).

Todos los componentes, excepto el agente de transformación en pellas, se mezclaron durante un par de minutos. El agente de transformación en pellas se añadió luego. Las mezclas se

agitaron luego durante 5 minutos, después de lo cual los materiales se transformaron en pellas por completo.

5 Las pellas se descargaron en una pila y se dejaron secar a una temperatura de 17°C durante 29 horas.

La Tabla 4 resume las características de las pellas obtenidas:

10 Tabla 4 – Propiedades de los agregados reciclados producidos

	Unidad	Mezcla 1
pellas D ₁₀	mm	1.018
pellas D ₉₀	mm	4.55
pellas D ₉₀ /D ₁₀	-	4.47
D ₅₀	mm	4.78
Los Ángeles	-	33

Las pellas podrían usarse para sustituir agregados gruesos de 4/8 mm en concreto fresco.

15 Ejemplo 2

Un concreto con el Diseño de la mezcla descrito en la Tabla 5 se envió a un sitio de trabajo, pero se devolvió parcialmente a la planta.

20 Tabla 5 - Diseño de la mezcla del concreto devuelto

Diseño de la mezcla de concreto		
CEM I 52.5 N	[kg/m ³]	350
a/c	[-]	0.57
0/4 redondo	[% de agregados en volumen]	42%
4/8 redondo	[% de agregados en volumen]	26%
8/12 redondo	[% de agregados en volumen]	32%
Plastificante	[% en masa de cemento]	1.70%
Retardante	[% en masa de cemento]	0.35%
Asentamiento	[cm]	17.5
Clase de capacidad de trabajo	[-]	S4

25 En la planta, se agregaron 1.35 kg/m³ de agente de transformación en pellas al concreto dentro del camión y se mezclaron durante 6 minutos, a una velocidad de rotación de 14 rpm.

Después de estos 6 minutos, el material se aglomeró completamente en pellas. Se descargaron de la mezcladora formando una pila y se dejaron curar. Ya que la temperatura externa era 22°C, la pila se dejó secar durante 24 horas.

Los agregados reciclados producidos tenían las siguientes características:

Tabla 6 – Características de agregados reciclados

$D_{10}=2.8\text{mm}$
$D_{50}=8.3\text{mm}$
$D_{90}=15.8\text{mm}$
$D_{90}/D_{10}=5.64$
L.A.=38

De acuerdo con la Tabla 6, se produjeron agregados monogranulares que podrían sustituir la fracción de 8/11 mm de agregados gruesos en concreto fresco.

Ejemplo 3

Se produjo un diseño de la mezcla de concreto con las siguientes características:

Tabla 7 – Diseño de la mezcla

Diseño de la mezcla de concreto		
CEM III 42.5 R	[kg/m ³]	325
Cenizas volantes	[kg/m ³]	75
a/aglutinante	[-]	0.47
0/2 redondo	[% de agregados en volumen]	32%
2/10 triturado	[% de agregados en volumen]	41%
10/16 triturado	[% de agregados en volumen]	27%
Superplastificante	[% en masa de aglutinante]	2.14%
Agente antiespumante	[% en masa de aglutinante]	0.05%

La Tabla 8 resume las propiedades de frescura de este concreto:

Tabla 8 – Propiedades de frescura

Propiedades de frescura		
Flujo de asentamiento	[cm]	71.5
Clase de capacidad de trabajo	[-]	SF2

Parte de este concreto fue devuelto a la planta. Se añadieron 2.9 kg/m³ de agente de transformación en pellas al tambor de mezclado del camión de concreto y se realizó la mezcla durante 4.5 minutos a una velocidad de rotación de 16 rpm. Las pellas se descargaron en una pila y se dejaron secar a una temperatura de 25°C durante 16 horas.

La distribución del tamaño de partícula de estas pellas se realizó y resumió en la tabla 8:

Tabla 9 - Distribución de tamaño de partícula de las pellas producidas

Distribución de tamaño de partícula	
Tamiz	Paso
[mm]	[%]
63	100.00%
31.6	100.00%
20	91.57%
16	87.63%
14	85.37%
12.5	75.40%
10	67.64%
8	44.77%
6.3	30.49%
4	13.55%
2	8.94%
1	6.74%
0.5	4.43%
0.25	1.33%
0.125	0.07%
0.063	0.00%

Las pellas producidas tenían las siguientes características:

5

Tabla 10 – Propiedades de las pellas producidas

Caracterización de los agregados		
D10	[mm]	2.460
D50	[mm]	8.457
D90	[mm]	18.406
D90/D10	[-]	7.48
L.A.	[-]	24

Ejemplo 4

10 Un concreto devuelto tenía el siguiente diseño de la mezcla:

Tabla 11 – Diseño de la mezcla del concreto devuelto

Diseño de la mezcla del concreto devuelto		
	Unidad	Diseño de la mezcla
CEM I 52.5	kg/m ³	450
a/a	-	0.45
Superplastificante	% en cemento	0.90%
Estabilizante	% en cemento	0.50%

Agregado 0/4 redondo	% en Volumen	50%
Agregado 4/8 redondo	% en Volumen	30%
Agregado 8/16 redondo	% en Volumen	20%

El flujo de asentamiento a los 5 minutos fue de 680 mm (SF2).

- 5 Se añadieron 1.1 kg/m³ de un agente de transformación en pellas a esta mezcla bajo mezcla. Después de 5 minutos, el material cementoso inicial se transformó en pellas por completo.

Las pellas se pusieron en una pila y se dejaron secar a una temperatura de 11°C durante 39 horas.

10

La Tabla 12 resume las propiedades de los agregados producidos.

Tabla 12 – Propiedades de las pellas obtenidas

D ₁₀ =4.20 mm
D ₅₀ =9.12 mm
D ₉₀ =16.04 mm
D ₉₀ /D ₁₀ =3.82
L.A.=41

15

Las pellas obtenidas podrían usarse para sustituir la fracción de 8/11 mm de agregados gruesos.

Ejemplo 5

20

Para probar las propiedades de un concreto donde parte de sus agregados gruesos fueron sustituidos con las pellas obtenidas previamente en el ejemplo 4, se realizaron tres diseños de la mezcla donde la única diferencia entre ellos fue la cantidad de agregados gruesos sustituidos por el concreto no sedimentado retornado transformado en pellas. En un primer diseño de la mezcla, no se agregaron pellas; en un segundo diseño de la mezcla, el 5% de los agregados gruesos fueron sustituidos por las pellas y en un tercer diseño de la mezcla, el 10% de los agregados gruesos fueron sustituidos por el concreto no sedimentado retornado transformado en pellas:

25

30

Tabla 13 – Diseño de la mezcla para los tres concretos frescos producidos

	Unidad	0% de Referencia	5% de Sustitución	10% de Sustitución
CEM I 52.5	kg/m ³	350	350	350
a/a	-	0.55	0.55	0.55
Superplastificante	% en cemento	0.30%	0.30%	0.30%
Agregado 0/4 redondo	% en volumen	45%	45%	45%
Agregado 4/8 redondo	% en volumen	20%	20%	20%

Agregado 8/11 redondo	% en volumen	35%	30%	25%
Concreto reciclado transformado en pellas	% en volumen	-	5%	10%

El asentamiento, así como la resistencia a la compresión y las densidades obtenidas después de 1, 7 y 28 días se pueden encontrar en las Tablas 14, 15 y 16, respectivamente.

5

Tabla 14 – Retención de la capacidad de trabajo – Asentamiento

Asentamiento				
Tiempo [min]	Unidad	0% de Referencia	5% de Sustitución	10% de Sustitución
5	cm	11.0	9.0	7.5
30	cm	9.0	8.5	7.5
60	cm	7.5	7.5	7.0
90	cm	6.5	6.0	6.0

10

Tabla 15 – Resistencias a la compresión obtenidas

Resistencia de compresión				
Tiempo [Días]	Unidad	0% de Referencia	5% de Sustitución	10% de Sustitución
1	MPa	21.3	24	22.2
7	MPa	41.6	42.9	39.6
28	MPa	44.5	45.4	43.5

Tabla 16 – Densidades obtenidas

Densidad				
Tiempo [Días]	Unidad	0% de Referencia	5% de Sustitución	10% de Sustitución
1	kg/m ³	2313.7	2325.3	2291.3
7	kg/m ³	2323.3	2263.5	2259.9
28	kg/m ³	2279.0	2288.4	2297.4

15

Como se puede ver en la Tabla 14, el asentamiento no se ve afectado por la sustitución parcial de los agregados. Además, a partir de las Tablas 15 y 16, las propiedades de endurecimientos de los concretos donde parte de los agregados gruesos se sustituyeron por concreto devuelto transformado en pellas son similares a las obtenidas para el concreto de referencia. De hecho, se obtuvo realmente una mejora en la resistencia cuando el 5% de los agregados gruesos se sustituyeron por el concreto no sedimentado retornado en forma de pellas.

20

Este ejemplo muestra que ni la resistencia a la compresión ni las densidades se ven afectadas dramáticamente por la sustitución parcial de los agregados gruesos por el concreto no retornado transformado en pellas.

25

Ejemplo 6

Se produjeron dos concretos con las propiedades que se muestran en la Tabla 17 en una planta para ser enviados a los clientes que los han solicitado:

5

Tabla 17 – Diseño de la mezcla

Diseño de la mezcla							
Tipo de concreto	Aglutinante	Water		Superplastificante	Arena	Grava	
	CEM I 52.5 R				0/4 redondo	4/8 triturado	8/11 triturado
	[kg/m ³]	A/A _{eq}	A/A _{tot}	[%]	[%] en vol	[%] en vol	[%] en vol
HPSCC*	600	0.30	0.31	1.50	45.00	20.00	35.00
Concreto convencional	300	0.65	0.70	-	45.00	20.00	35.00

*HPSCC: Concreto autocompactante de alto rendimiento

A/A_{eq}: proporción de agua-aglutinante

10

A/A_{tot}: proporción de agua-aglutinante

La Tabla 18 muestra las propiedades frescas de ambos concretos:

15

Tabla 18 – Propiedades de frescura

Diseño de mezcla	Propiedades de frescura		
Tipo de concreto	Asentamiento	Flujo de asentamiento	Contenido de aire
	[cm]	[cm]	[%]
HPSCC	-	68.00	1.00
Concreto convencional	17	-	4.10

Una parte de ambos concretos fue devuelta a la planta. Se añadieron 2.0 kg/m³ de agente de transformación en pellas a ambos concretos en la planta y se produjeron agregados. La Tabla 19 muestra las propiedades del concreto endurecido.

20

Tabla 19 – Propiedades de endurecimiento

Diseño de la mezcla	Propiedades de endurecimiento		
Tipo de concreto	Resistencia de compresión vs tiempo		
	[MPa] vs [día]		
	1	7	28
HPSCC	54.87	71.82	83.95
Concreto convencional	10.86	27.60	31.31

25

La Figura 2 muestra la distribución del tamaño de partícula de las pellas obtenidas. El PSD se ajustó a ese D90/D10 que cae entre 2 y 10 para asegurar una fracción monogranular de

agregados. El gráfico de PSD final se muestra en la Figura 3 y los valores de D₉₀, D₁₀ y D₅₀ se muestran en la Tabla 15.

De la Figura 4, se derivan los valores que se muestran en la Tabla 20.

5

Tabla 20 - Análisis de PSD para los agregados reciclados producidos con ambos concretos, SCC y concreto convencional.

	D ₉₀	D ₁₀	D ₉₀ /D ₁₀	D ₅₀
HPSCC	32	6.3	5	12.5
Concreto convencional	14	4	3.5	10

10

A partir de D₉₀/D₁₀, se puede concluir que los dos agregados reciclados producidos son monogranulares. Estos agregados producidos pueden usarse como sustitutos de la fracción de 8/11 mm en concreto nuevo. La Tabla 21 muestra los valores de Los Ángeles para ambos agregados reciclados:

15

Tabla 21 - Valores de Los Ángeles para los agregados reciclados producidos con HPSCC y concretos convencionales.

	Agregados de HPSCC	Agregados de concreto convencional
Valores de Los Ángeles	36	29

20

Los agregados reciclados producidos se usaron como sustitución de la fracción de 8/11 mm de agregados gruesos en los nuevos concretos convencionales. 0%, 5%, 10% y 15% de los agregados gruesos en los diseños de la mezcla se sustituyeron con los agregados reciclados producidos. Los diseños de mezcla para este concreto fresco se encuentran en la Tabla 22.

25

Tabla 22 - Diseños de mezcla para nuevos concretos frescos usando 0%, 5%, 10% y 15% de agregados reciclados.

	Diseño de la mezcla										
	Aglutinante		Agua		Aditivos		Agregados				
	CEM 52.5 R	Cenizas volantes			Superplastificante	Estabilizante	0/4 redondo	4/8 triturado	8/11 triturado	RA de HPSCC	RA de CC
	[kg/m ³]	[kg/m ³]	W/B _{eq}	W/B _{tot}	[% de aglutinante]	[% de aglutinante]	[% en vol]	[% en vol]	[% en vol]	[% en vol]	[% en vol]
Ref 1	300	-	0.65	0.70	0.30	0.00	45.00	20.00	35.00	0.00	-
Mezcla 1	300	-	0.65	0.70	0.30	0.00	45.00	20.00	30.00	5.00	-
Mezcla 2	300	-	0.65	0.70	0.30	0.00	45.00	20.00	25.00	10.00	-
Mezcla 3	300	-	0.65	0.70	0.30	0.00	45.00	20.00	20.00	15.00	-
Mezcla 4	300	-	0.65	0.70	0.30	0.00	45.00	20.00	30.00	-	5.00
Mezcla 5	300	-	0.65	0.70	0.30	0.00	45.00	20.00	25.00	-	10.00
Mezcla 6	300	-	0.65	0.70	0.30	0.00	45.00	20.00	20.00	-	15.00
Ref 2	400	250	0.30	0.27	3.00	0.50	45.00	20.00	35.00	0.00	-
Mezcla 7	400	250	0.30	0.27	3.00	0.50	45.00	20.00	30.00	5.00	-
Mezcla 8	400	250	0.30	0.27	3.00	0.50	45.00	20.00	25.00	10.00	-
Mezcla 9	400	250	0.30	0.27	3.00	0.50	45.00	20.00	20.00	15.00	-
Mezcla 10	400	250	0.30	0.27	3.00	0.50	45.00	20.00	30.00	-	5.00
Mezcla 11	400	250	0.30	0.27	3.00	0.50	45.00	20.00	25.00	-	10.00
Mezcla 12	400	250	0.30	0.27	3.00	0.50	45.00	20.00	20.00	-	15.00

La Tabla 23 muestra las propiedades frescas de los concretos producidos, mientras que la Tabla 15 muestra las Propiedades de endurecimiento de los concretos producidos.

5

Tabla 23 – Propiedades de frescura de los concretos producidos

	Propiedades de frescura								
	Asentamiento [cm] vs tiempo[min]				Flujo de asentamiento [cm] vs tiempo [min]				Contenido de aire
	5	30	60	90	5	30	60	90	
Ref 1	18.5	15.0	12.5	10.5	-	-	-	-	2.3%
Mezcla 1	21.5	20.5	19.0	14.5	-	-	-	-	1.9%
Mezcla 2	19.0	18.0	14.0	12.0	-	-	-	-	2.1%
Mezcla 3	18.0	16.5	13.5	11.0	-	-	-	-	2.4%
Mezcla 4	20.0	18.5	16.5	12.5	-	-	-	-	2.1%
Mezcla 5	18.5	16.0	13.5	11.0	-	-	-	-	2.4%
Mezcla 6	17.5	15.0	13.0	9.5	-	-	-	-	2.7%
Ref 2	-	-	-	-	67	72	68	64	1.6%
Mezcla 7	-	-	-	-	71	74	71	70	1.2%
Mezcla 8	-	-	-	-	68	72	70	67	1.5%
Mezcla 9	-	-	-	-	65	69	69	65	1.6%
Mezcla 10	-	-	-	-	68	70	69	65	1.7%
Mezcla 11	-	-	-	-	65	67	64	63	1.8%
Mezcla 12	-	-	-	-	64	66	63	62	2.1%

Tabla 24 - Propiedades de endurecimiento de los concretos producidos

	Resistencia a la compresión vs tiempo		
	[MPa] vs [día]		
	1	7	28
Ref 1	16.88	35.00	44.0
Mezcla 1	12.58	31.06	36.5
Mezcla 2	17.49	38.54	45.7
Mezcla 3	14.48	35.60	40.5
Mezcla 4	15.17	34.25	38.5

Mezcla 5	19.35	38.73	44.2
Mezcla 6	13.06	31.81	34.5
Ref 2	29.08	75.72	79.8
Mezcla 7	29.44	71.14	86.5
Mezcla 8	44.90	73.02	89.9
Mezcla 9	18.05	66.47	72.7
Mezcla 10	18.00	64.92	72.0
Mezcla 11	23.76	67.86	77.8
Mezcla 12	19.66	63.64	70.9

De la Tabla 24, se ve que el uso de agregados reciclados producidos de acuerdo con el método descrito aquí no impactó negativamente la resistencia a la compresión del concreto final a los 28 días, en realidad podría incluso mejorarlo (por ejemplo, Mezclas 7 y 8) .

Ejemplo 7

Se produjo un concreto con el siguiente diseño de la mezcla:

Tabla 25 – Diseño de la mezcla de concreto

Diseño de la mezcla de concreto		
CEM II/A-LL 42.5 N	[kg/m ³]	280
GGBS	[kg/m ³]	55
a/aglutinante	[-]	0.61
0/4 triturado	[% de agregados en volumen]	45%
4/8 triturado	[% de agregados en volumen]	25%
8/16 redondo	[% de agregados en volumen]	30%
Superplastificante de base en PCE	[% en masa de aglutinante]	0.42%
Retardante	[% en masa de aglutinante]	0.20%
Propiedades de frescura		
Asentamiento	[cm]	22
Clase de capacidad de trabajo	[-]	S5

Este concreto fue devuelto parcialmente y se transformó en pellas con el fin de producir agregados:

Tabla 26 - Procedimientos de granulación y curado

Procedimiento de transformación en pellas		
Agente de transformación en pellas	[kg/m ³]	1.3
Tiempo de transformación en pellas	[min]	31
Velocidad de rotación	[1/min]	12

Procedimiento de curado		
Tiempo de curado	[h]	16
Temperatura de curado	[°C]	25

Debido a un error del operador, el tiempo de transformación en pellas se extendió más allá de los 25 minutos. Las Tablas 27 y 28 resumen las características de los agregados obtenidos.

5

Tabla 27 - Distribución de tamaño de partícula de las pellas producidas

Distribución de tamaño de partícula	
Tamiz	Paso
[mm]	[%]
63	100.00%
31.6	89.63%
20	86.45%
16	82.47%
14	78.92%
12.5	67.89%
10	54.87%
8	41.56%
6.3	27.95%
4	13.55%
2	8.94%
1	5.41%
0.5	3.98%
0.25	1.87%
0.125	1.20%
0.063	0.00%

Tabla 28 – Caracterización de agregados

Caracterización de agregados		
D ₁₀	[mm]	2.460
D ₅₀	[mm]	9.268
D ₉₀	[mm]	32.720
D ₉₀ /D ₁₀	[-]	13.30
L.A.	[-]	57

10

Los agregados obtenidos ya no son monogranulares y no pueden usarse para sustituir una parte de la fracción agregada. Para poder usarlos en concreto fresco, el operador debería separar los agregados producidos por la fracción de tamaño. Debido al trabajo adicional que implicaría esta operación, los agregados producidos terminaron siendo eliminados.

15

Ejemplo 8

Se produjo un concreto con el diseño de la mezcla descrito en la tabla 29.

Tabla 29 – Diseño de la mezcla

Diseño de la mezcla de concreto		
CEM I 52.5 N	[kg/m ³]	350
a/c	[-]	0.57
0/4 redondo	[% de agregados en volumen]	42%
4/8 redondo	[% de agregados en volumen]	26%
8/12 redondo	[% de agregados en volumen]	32%
Plastificante	[% en masa de cemento]	1.70%
Retardante	[% en masa de cemento]	0.35%
Propiedades de frescura		
Asentamiento	[cm]	17.5
Clase de capacidad de trabajo	[-]	S4

5

Parte de este concreto fue devuelto a la planta y fue transformado en pellas. La Tabla 30 resume los pasos de la transformación en pellas y curado:

10

Tabla 30 – Pasos de transformación en pellas y curado

Procedimiento de transformación en pellas		
Agente de transformación en pellas	[kg/m ³]	0.4
Tiempo de transformación en pellas	[min]	6
Velocidad de rotación	[1/min]	14
Procedimiento de curado		
Tiempo de curado	[h]	16
Temperatura de curado	[°C]	25

Las Tablas 31 y 32 resumen las propiedades de los agregados producidos.

15

Tabla 31 – Distribución de tamaño de partícula de los agregados obtenidos

Distribución de tamaño de partícula	
Tamiz	Paso
[mm]	[%]
63	98.52%
31.6	87.74%
20	85.63%
16	74.12%

14	62.40%
12.5	54.60%
10	51.23%
8	47.63%
6.3	32.70%
4	20.10%
2	14.50%
1	10.40%
0.5	7.80%
0.25	6.40%
0.125	5.32%
0.063	0.00%

Tabla 32 – Parámetros obtenidos para las pellas producidas
Caracterización de agregados

D_{10}	[mm]	0.923
D_{50}	[mm]	9.317
D_{90}	[mm]	38.183
D_{90}/D_{10}	[-]	41.36
L.A.	[-]	48

- 5 D_{90}/D_{10} obtenido es muy alto debido a la baja cantidad de agente de transformación en pellas usado.