

MÉTODO PARA AGLOMERAR MATERIALES FINAMENTE DIVIDIDOS EN FORMA ARTIFICIAL

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un método para aglomerar materiales finamente divididos para dar lugar a un material más grueso. En particular, la presente invención se refiere a un método para preparar agregados aglomerados en forma artificial a partir de materiales finos para su utilización en diversas aplicaciones, incluidas, aunque sin limitarse a las mismas, para la construcción de la base y/o la sub-base de caminos o pavimentos funcionales, para propósitos decorativos y/o para su uso como sustituto total o parcial de los agregados del hormigón común para varias funciones. Asimismo, mediante este método pueden producirse, a partir de materiales finos, agregados artificiales con la distribución de tamaños de partícula y el desempeño mecánico deseados.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El hormigón puede definirse como una pasta de aglutinante y agua, con partículas de agregados mezcladas en la misma. Los agregados pueden definirse como agregados finos y gruesos y pueden ocupar del 60 al 75% del volumen del hormigón. Conforme al ACI Education Bulletin E1-99 ("Aggregates for Concrete"), la porción de un agregado que pasa a través de un tamiz de 4,75 mm (N°4) y que en su mayor parte se retiene en un tamiz de 75 μ m (N°200) se denomina agregado fino, y un agregado de mayor tamaño (mayor que 4,75 mm) se denomina agregado grueso. La arena es un ejemplo de agregado fino habitualmente utilizado, mientras que la grava o piedra triturada, en partículas mayores que 4,75 mm, se consideran ejemplos de agregados gruesos.

Las propiedades de los agregados afectan la trabajabilidad, la durabilidad, la resistencia, las propiedades técnicas y la densidad del concreto endurecido y por lo tanto son un ingrediente clave en el diseño de la mezcla.

Por ejemplo, un exceso de partículas más finas ($< 75 \mu$ m), tales como limo, arcilla o polvo fino, puede afectar en forma adversa la calidad del hormigón endurecido, disminuyendo la ganancia de resistencia global en el producto final. La norma ASTM C117 (Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m) prevé un límite máximo de 10% para dichas partículas más finas en el agregado fino, mientras que BS EN 12620:2002 (British Standard - Aggregates for Concrete) establece un límite de 3% para dichos componentes.

Cuando el agregado fino posee un alto contenido de partículas de menor tamaño, necesita ser lavado de modo de disminuir el contenido de partículas más pequeñas hasta valores permisibles, de modo de

asegurar que las propiedades del producto final no se vean comprometidas. Esto conduce a un alto consumo de agua que al final del proceso está contaminada con los finos eliminados del agregado. Esta agua debe ser tratada o desechada, con los problemas ambientales que obviamente ello conlleva.

La alternativa al proceso de lavado del agregado fino es su desecho, dado que no puede utilizarse como material de construcción, normalmente en un vertedero, lo cual representa una cantidad muy grande de desecho y además causa un problema ambiental.

Se ha encontrado que es posible convertir agregados, incluidos, aunque sin limitarse a los mismos, agregados finos, por ejemplo arena o polvo de ladrillo, en gránulos con las propiedades físicas y mecánicas deseadas, dependiendo de la aplicación final deseada, tal como [para la construcción de] la sub-base o base de pavimentos permeables, para propósitos decorativos o incluso como sustituto total o parcial de los agregados gruesos en el hormigón. Asimismo, la presente invención permite el uso de varios tipos de agregados finos que normalmente no cumplirían con los requerimientos para el uso en la industria de la construcción y que se habrían desechado, tales como barro de desecho, arena reciclada o agregados finos con alto contenido de partículas de menor tamaño, tales como limo, arcilla u otras impurezas, contribuyendo de esa forma como una alternativa a los vertederos y una solución para las limitantes de los mismos (escasez de vertederos, grandes distancias a transportar, restricciones legales, etc.).

Asimismo, en el caso de que los agregados se utilicen para la construcción de un pavimento permeable, el pavimento final debe poseer un bajo contenido de finos (pase por 0,063 mm no superior a 5% y 0,125 mm no superior a 20%), de modo que posea una alta proporción de espacios vacíos que actúen como reservorios a partir de los cuales el agua se libera al ambiente en forma gradual en el lapso de determinado tiempo, disminuyendo de esta manera la posibilidad de inundación. La presente invención da lugar a agregados cuyo tamaño puede predecirse, y que por tanto pueden diseñarse en forma específica para diferentes aplicaciones, tales como la construcción de caminos permeables.

Por otro lado, en el caso de que los agregados se utilicen como una base para caminos funcionales, el producto final también debe poseer buenas propiedades mecánicas, de modo de poder soportar el peso de las capas por encima del mismo, así como el peso de los vehículos. Por lo tanto, se necesita una buena resistencia contra la abrasión y la fragmentación (el ensayo de Los Angeles debe dar como máximo 60), la cual puede alcanzarse utilizando el presente método.

El ensayo de abrasión de Los Angeles (L.A.) es un método para evaluar la dureza y las propiedades de abrasión de un agregado. Las mismas son importantes porque los agregados utilizados en los pavimentos deben resistir el aplastamiento, el deterioro y la desintegración a fin de asegurar la resistencia del futuro pavimento.

El presente método no sólo funciona con agregados finos, sino también con agregados de mayor tamaño, hasta 30 mm, los cuales pueden aglomerarse para formar gaviones o para propósitos decorativos.

Algunas solicitudes ya divulgan el proceso de convertir los agregados finos en un material granular:

DE2110498 se refiere a un proceso para preparar materiales cerámicos expandidos de forma granular que pueden utilizarse como agregados para el hormigón ligero. Este proceso comprende 1) la mezcla y la homogenización del material de partida con agua, 2) la formación de gránulos pasando el material por un molino de rodillos y recubriéndolo con una capa de cemento y 3) el secado de dichos granos en un horno a 1000 °C - 1200 °C. El proceso no proporciona un método para controlar las propiedades físicas y mecánicas de los gránulos producidos; y por otra parte, la complejidad de este proceso no permite que se lleve a cabo en el predio de la obra, como sí lo permite la presente invención.

DE3315206 se refiere a un método para producir gránulos de arena para su uso como agregados de hormigón, en remplazo de la grava o piedra triturada. La arena es aglomerada para dar lugar a esferas de mayor tamaño con el agregado de líquido y opcionalmente un aglutinante. Luego, se agregan las esferas al hormigón. El método no divulga el uso de arena arcillosa/limosa y no muestra ningún resultado, [ni], por lo tanto, ninguna indicación en cuanto a cómo controlar las propiedades de los gránulos y/o las características de las esferas finales obtenidas, por lo cual su aplicabilidad es limitada o incluso incierta.

CN103880371 da a conocer un método para preparar agregados artificiales a partir de lodo y barro con altos contenidos de arena. En primer lugar, el material inicial se filtra para eliminar las partículas con alto diámetro de partícula; luego, se mezcla con aglutinante (hormigón, y cenizas volantes, y [cal], y escoria, y ceniza de sílice), activador, agente de resistencia temprana y agua. Luego se forman los gránulos y, después del curado, se agregan al cemento como sustituto de la grava para producir hormigón. No se da ninguna indicación de las propiedades finales de los gránulos, y como resultado, no se divulga un método para controlar dichas propiedades.

En conclusión, el estado anterior de la técnica no ha divulgado hasta ahora un método para obtener las propiedades deseadas de los agregados producidos, en términos del tamaño de partícula y el desempeño mecánico, [que pueda] adaptarse en forma específica a las diversas aplicaciones en el sector de la industria de la construcción.

El problema a solucionar es hallar un método para reutilizar el material finamente dividido[,] incluso los finos que normalmente serían desechados, tales como finos con alto contenido de arcilla[,] para la producción de un material agregado más grueso.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención da a conocer un método para aglomerar un material finamente dividido para dar lugar a agregados, siendo que los agregados poseen un tamaño mayor que el material finamente dividido, el cual comprende los pasos de:

- (a) mezclar el material finamente dividido, aglutinante y agua en una mezcladora,
- (b) agregar un agente aglomerante a la mezcla formada en el paso (a) y

(c) mezclar ininterrumpidamente,

[de conformidad con el] método de la invención.

En el paso (a) del método de la invención, el material finamente dividido puede ser, sin limitarse al mismo, agregados finos. La invención permite el uso de cualquier material en el cual la mayor parte de las partículas (90%) poseen un tamaño menor que 30 mm; dicho material fino, hasta 30 mm, puede aglomerarse para propósitos decorativos y/o para producir gaviones, por ejemplo. [Algunos] ejemplos de materiales finamente divididos que pueden utilizarse conforme a la forma de realización de la presente invención son cemento, arena, arcilla, vidrio, escoria, cenizas volantes, polvo de piedra, polvo de by-pass, piedra caliza, humo de sílice, ladrillo triturado, polvo de ladrillo, piedra triturada o una combinación de los mismos.

La cantidad de agregado debe encontrarse en el rango de 0,1 ton a 3,2 ton por m³ de mezcla.

Conforme al método de la invención, el volumen de mezcla puede describirse como el volumen total combinado de los materiales individuales, sin tener en cuenta los espacios vacíos al describir dicho volumen. Puede medirse a partir de las densidades de las materias primas utilizadas y la suma de las respectivas masas, teniendo en cuenta que la densidad de un material se define como masa por unidad de volumen. Ello significa que se tiene en cuenta el agua que será absorbida en el cuerpo de las partículas, mientras que la superficie de las partículas permanece “seca” - estado de humedad “saturado con superficie seca” (SSD por sus siglas en inglés). Todas las concentraciones mencionadas en la presente invención se describen en términos de masa por metro cúbico, siendo que dicho metro cúbico siempre se define como se describe en el párrafo anterior.

En el paso (a) del método de la invención, el aglutinante es cualquier material que puede unir los otros ingredientes. Entre los ejemplos de aglutinantes que pueden utilizarse conforme a [una] forma de realización de la presente invención se encuentran cemento — en la forma de polvo o mezclado con agua, incluidos, sin limitarse a los mismos, mortero u hormigón antes del fraguado (por ejemplo, hormigón devuelto) —, cal, polvo de by-pass, humo de sílice, cenizas volantes, escoria o una combinación de los mismos.

Los componentes del paso a) pueden agregarse en forma conjunta en un único paso, o en forma alternativa, el agua y el material aglutinante pueden agregarse al material finamente dividido en forma gradual.

De esta manera, [conforme a otra forma de realización del método de la invención,] en el paso (a) el material finamente dividido, el aglutinante y el agua se agregan en forma simultánea.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] en el paso (a) el agua y el aglutinante se agregan a dicho material finamente dividido en forma gradual.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] dicho material finamente dividido se selecciona a partir del conjunto que consiste en cemento, arena, arcilla, vidrio, escoria, cenizas volantes, polvo de piedra, polvo de by-pass, piedra caliza, humo de sílice, ladrillo triturado, polvo de ladrillo y piedra triturada o una combinación de los mismos.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] dicho material finamente dividido está

presente a una concentración que se encuentra en el rango de 0,1 ton/m³ a 3,2 ton/m³ con respecto a la mezcla final.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] dicho aglutinante se selecciona a partir del conjunto que consiste en cemento en polvo, cemento mezclado con agua, mortero, hormigón antes del fraguado, hormigón devuelto, cal, polvo de by-pass, humo de sílice, cenizas volantes y escoria o una combinación de los mismos.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] dicho aglutinante está presente a una concentración en el rango de 10 a 1000 kg/ m³ con respecto a la mezcla final.

También puede agregarse un superplastificante (por ejemplo a base de melamina, naftaleno, lignosulfonato o policarboxilatos) en el paso (a) a fin de optimizar la consistencia de la mezcla. Ello mejorará la trabajabilidad de la mezcla, permitiendo un mejor desempeño del agente aglomerante. El contenido de sólidos activos del superplastificante[, expresado como concentración,] se encuentra entre 0,1 kg/m³ y 10 kg/m³.

De esta manera, [conforme a otra forma de realización del método de la invención,] en el paso (a) se agrega un superplastificante a la mezcla.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] dicho superplastificante se selecciona a partir del conjunto que consiste en melamina, naftaleno, lignosulfonato y policarboxilatos o una combinación de los mismos.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] el contenido de sólidos activos del superplastificante[, expresado como concentración,] se encuentra en el rango de 0,1 kg/m³ a 10 kg/m³.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] en el paso (a) la relación de agua a aglutinante (p/p) se encuentra en el rango de 0,5 a 10.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] dicho agente aglomerante se selecciona a partir del conjunto que consiste en celulosa, quitosán, poliacrílicos, poliaminas, iminas de polietileno, polivinilalcoholes, polisacáridos, poliácridamidas, y copolímeros de los mismos, colágeno, acrilamida, ácido láctico, ácido metacrílico, [metacrilato de hidroxietilo], etilenglicol, óxido de etileno, ácido acrílico, floculantes inorgánicos y coagulantes inorgánicos o una combinación de los mismos.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] dicho agente aglomerante es floculantes inorgánicos o polisacáridos.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] el contenido de sólidos activos del agente aglomerante[, expresado como concentración,] se encuentra en el rango de 0,1 kg/m³ a 5 kg/m³.

Los agregados obtenidos mediante el método de la invención pueden verterse fuera de la mezcladora y secarse durante al menos 6 horas, hasta que el cambio en el peso entre dos muestras sucesivas sea inferior a 0,1%. Los agregados pueden secarse al aire o utilizando un horno, a una temperatura que no supere los 100 °C[;] preferiblemente los agregados deben secarse a una temperatura que se encuentra entre -10

°C y 100 °C. Los agregados pueden exponerse a la precipitación siempre que luego se dejen secar hasta que el cambio en el peso entre dos muestras sucesivas sea inferior a 0,1%.

Los agregados también pueden curarse mediante aspersión o rociado con agua, a fin de evitar pérdidas repentinas de agua y la fractura del material. Ello impide que la humedad de los agregados se evapore, lo cual contribuye a la ganancia de resistencia del agregado final.

De esta manera, [conforme a otra forma de realización del método de la invención,] los agregados obtenidos en el paso (c) se vierten fuera de la mezcladora y se secan durante al menos 6 horas.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] los agregados obtenidos en el paso (c) poseen una aglomerabilidad de al menos 30, siendo que dicha "Aglomerabilidad" se define como

$$AI = FM_{RM} \times \frac{D_{90}}{D_{10}}$$

siendo que FM_{RM} es el módulo de finura del material finamente dividido utilizado en el paso (a), definido como la suma [total de los porcentajes] de la muestra que pasan la siguiente serie de tamices: 0,063 mm, 0,125 mm, 0,250 mm, 0,500 mm, 1 mm, 2 mm y 4 mm

$$FM_{RM} = \sum_{(0.063mm-4mm)} passing\%,$$

siendo que D_{10} es el tamaño del tamiz [mm] para el cual el pasaje es 10%, siendo que D_{90} es el tamaño del tamiz [mm] para el cual el pasaje es 90% y D_{90}/D_{10} es un índice monogranular.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] en el paso (a) se agrega un agente de nucleación a la mezcla.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] dicho agente de nucleación se selecciona a partir del conjunto que consiste en cemento, arena, arcilla, vidrio, escoria, cenizas volantes, polvo de piedra, polvo de by-pass, piedra caliza y humo de sílice o una combinación de los mismos.

Pueden agregarse fibras a la mezcla en el paso a) a fin de aumentar la robustez y la durabilidad general del material final. La dosificación de dichas fibras se encuentra entre 0 y 10% (v/v).

En el paso (c) del método de la invención, la mezcla se lleva a cabo durante entre 1 minuto y 15 minutos, o hasta que la totalidad del material finamente dividido inicial se haya aglomerado en forma visible. Puede utilizarse cualquier mezcladora para mezclar los ingredientes, por ejemplo peletizadoras de disco, mezcladoras de paletas, peletizadoras de tambor, aglomeradoras de mezcla de agujas, mezcladoras de cinta, mezcladoras de una paleta, mezcladora planetaria o incluso una mezcladora de arcilla o el tambor rotatorio de un camión-mezcladora tradicional.

Los aglomerados obtenidos mediante el método de la invención pueden utilizarse para la base o la sub-base; cuando no se desean propiedades mecánicas específicas, los aglomerados pueden verse

directamente en la sub-base y distribuirse en forma uniforme de manera manual o mecánica.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] el agregado aglomerado se distribuye uniformemente utilizando una regla con motor, la cual es una máquina utilizada en la construcción, más específicamente para crear superficies planas durante la preparación de un curso base para un camino pavimentado.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] una vez que el agregado se ha vaciado en la base/sub-base, es compactado por una aplanadora.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] los agregados obtenidos mediante el método de la invención se utilizan en construcciones arquitectónicas decorativas, tales como caminos coloreados, pavimentos coloreados, o concreto con agregados expuestos. Pueden agregarse pigmentos a la mezcla en el paso (a) del método para dicho propósito; siendo que dichos pigmentos pueden ser orgánicos o inorgánicos y pueden agregarse a una concentración entre 0-100 kg/m³ de mezcla, dependiendo de la intensidad de color deseada.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] los agregados obtenidos mediante el método de la invención se utilizan como agregados para el concreto fresco.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] la "aglomerabilidad" del material finamente dividido inicial puede predecirse mediante:

$$AI = FM_{RM} \times \frac{D_{90}}{D_{10}} \quad \text{eq. 1}$$

La Ecuación 1 nos permite calcular el "Índice de Aglomerabilidad", "AI".

AI puede encontrarse entre 0 y 1000. La "aglomerabilidad" es un índice que predice la capacidad del material finamente dividido inicial para aglomerarse. Si el índice se encuentra por debajo de 30, la aglomeración es posible si se agrega un agente de nucleación, por ejemplo, polvo de by-pass, a una concentración de entre 1 y 50% del peso total; cuando AI se encuentra por encima de 30, el material puede aglomerarse sólo mediante el agregado de aglutinante, agua y agente aglomerante.

FM_{RM} en la ecuación 1 es el módulo de finura del material finamente dividido inicial, definido como la suma [total de los porcentajes] de la muestra del material finamente dividido inicial que pasan a través de la siguiente serie de tamices: 0,063 mm, 0,125 mm, 0,250 mm, 0,500 mm, 1 mm, 2 mm y 4 mm:

$$FM_{RM} = \sum_{(0.063\text{mm}-4\text{mm})} \text{passing}\% \quad \text{eq. 2}$$

D₁₀ en la ecuación 1 es el tamaño del tamiz [mm] para el cual el pasaje es 10%

D₉₀ en la ecuación 1 es el tamaño del tamiz [mm] para el cual el pasaje es 90% y

D_{90}/D_{10} es un índice monogranular.

[Conforme a otra forma de realización del método de la invención,] la distribución del tamaño de partícula puede predecirse mediante la fórmula:

$$FM_{FM} = k \cdot \log_{10}\left(\frac{PV}{AI} \cdot 100\right) \quad \text{eq. 3}$$

donde FM_{FM} es el módulo de finura de la mezcla final, definido como la suma [total de los porcentajes] de la muestra de la mezcla final (material aglomerado obtenido en el paso (c)) que pasan a través de la siguiente serie de tamices: 0,063 mm, 0,125 mm, 0,250 mm, 0,500 mm, 1 mm, 2 mm and 4 mm:

$$FM_{FM} = \sum_{(0.063mm-4mm)} \text{passing\%} \quad \text{eq. 4}$$

k es una constante que depende del material finamente dividido inicial seleccionado y que puede calcularse mediante la fórmula 3.

PV representa el volumen de pasta [l/m^3]

AI representa la "aglomerabilidad" de la materia prima, calculada mediante la Ecuación 1.

El volumen de pasta representa el volumen de agua en el sistema sumado al volumen de las partículas de tamaño menor que 0,063 mm.

Cuando el índice de aglomerabilidad es inferior a 30, y se necesita agregar un agente de nucleación, dicha cantidad de agente de nucleación a agregar puede calcularse conociendo el módulo de finura y la distribución del tamaño de partícula para un material finamente dividido inicial, así como para el agente de nucleación, y calculando el módulo de finura y la distribución del tamaño de partícula de la mezcla final utilizando la 3.

El agente de nucleación necesita ser un material más fino que el material finamente dividido [inicial] utilizado. Por lo tanto, el agente de nucleación puede ser el mismo aglutinante siempre y cuando su distribución del tamaño de partícula sea menor [sic] que la del material finamente dividido inicial. El agente de nucleación puede ser, por ejemplo cemento, arena, arcilla, vidrio, escoria, cenizas volantes, polvo de piedra, polvo de by-pass, piedra caliza, humo de sílice o una combinación de los mismos, con un tamaño de partícula donde más del 90% de las partículas de agente de nucleación pasan a través de un tamiz de 15 mm. El agente de nucleación interferirá con la mezcla creando un material jerarquizado en el cual las partículas más pequeñas interactuarán con las partículas mayores, agregándose alrededor de ellas, creando aglomeraciones esféricas de mayor tamaño.

Conforme al método de la invención, k se encuentra entre 0,2 y 4, dependiendo de los materiales iniciales utilizados.

Conforme al método de la invención, el módulo de finura de los agregados producidos se encuentra entre 0 y 7.

Conforme al método de la invención, más del 80% de los agregados formados en el paso (c) poseen un tamaño de partícula mayor que 0,063 mm.

Conforme al método de la invención, los agregados formados en el paso (c) poseen un valor de Los Angeles (conforme a AASHTO T 96 o ASTM C 131) inferior a 60.

Las propiedades mecánicas pueden predecirse mediante una correlación entre el módulo de finura, calculado mediante la Ecuación 4, y el valor de Los Angeles.

La densidad del material final puede predecirse conociendo la densidad del material finamente dividido inicial, el aglutinante y el diseño de mezcla a utilizar:

$$\rho_f = \frac{(\rho_1 \times v_1) + (\rho_2 \times v_2) + \dots (\rho_i \times v_i)}{v_1 + v_2 + \dots + v_i} \quad \text{eq. 5}$$

donde ρ_f representa la densidad de la mezcla final, ($\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_i$) representan las densidades de los materiales iniciales "i" utilizados y ($v_1, v_2, \dots, v_i$) representan los volúmenes iniciales de los materiales "i" utilizados.

El módulo de finura de la mezcla final puede predecirse a partir del volumen de pasta si se correlacionan ambos parámetros mediante regresión lineal. El Ejemplo 2 muestra dicha correlación para el material finamente dividido específico utilizado. A partir del módulo de finura, luego puede predecirse la capacidad de peletización de la mezcla, conforme a la Ecuación 1.

La absorción de agua de los agregados finales obtenidos puede determinarse conforme a la Norma Europea EN 1097-6 o ASTM C 128.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Fig 1 muestra la distribución del tamaño de partícula (PSD) inicial de la arena para el Ejemplo 1.

La Fig 2 muestra los resultados del ensayo de Los Angeles de los agregados aglomerados obtenidos en el Ejemplo 1.

La Fig 3 muestra la distribución del tamaño de partícula (PSD) inicial del material finamente dividido para el Ejemplo 2.

La Fig 4 muestra los resultados del ensayo de Los Angeles de los agregados aglomerados obtenidos para el Ejemplo 2.

EJEMPLOS DE LA INVENCIÓN

Ejemplo 1

Se aglomeraron 6 muestras de arena conforme al método de la invención. La composición inicial se muestra en la Tabla 1. La distribución del tamaño de partícula (PSD) inicial de la arena utilizada como material fino se presenta en la Figura 1.

Tabla 1

N.	Nombre	Composición						
		CEMI 52,5 R kg/m ³	CEMI 52,5 blanco kg/m ³	b.h. ef.	b.h. tot	Agregados 0/4 esféricos	Agregados 0/4 triturados	Aditivo: Floculante kg/m ³
A	Grava	300		0,7	0,76	0%	100%	0,5
	de arena - vA							
B	Grava	300		0,6	0,662	0%	100%	0,5
	de arena- vB							
C	Grava	350		0,6	0,65	0%	100%	0,5
	de arena- vC							
D	Grava	400		0,6	0,64	0%	100%	0,5
	de arena- vD							
E	Grava	-	300	0,7	0,76	0%	100%	0,5
	de arena- vE blanco							
F	Grava	-	350	0,7	0,747	0%	100%	0,5
	de arena- vF blanco							

Para cada mezcla, se agregaron el material finamente dividido (arena), aglutinante (CEM I 52,5 — se utilizó tanto gris como blanco) y agua y se mezcló durante 2 minutos. Luego, se agregó el agente

aglomerante, en este caso un floculante, y después de 5 minutos se produjeron esferas.

Las esferas luego se dejaron secar durante 8 horas. Las características de las esferas endurecidas pueden verse en la Tabla 2 y en la Figura 2.

Tabla 2

N.	Nombre	Propiedades del material endurecido
		Los Angeles
		7 días
A	Grava de arena-vA	50,1
B	Grava de arena-vB	59,2
C	Grava de arena-vC	56,6
D	Grava de arena-vD	46,8
E	Grava de arena-vE blanco	47,2
F	Grava de arena-vF blanco	61,8

Los valores de Los Angeles obtenidos para los agregados endurecidos indican que los gránulos obtenidos poseen una buena resistencia a la abrasión y por lo tanto pueden utilizarse como base para caminos funcionales.

Ejemplo 2

Se utilizó el agregado 0/4 para este segundo Ejemplo. La distribución del tamaño de partícula del material original se grafica en la Figura 3.

El material finamente dividido inicial luego se mezcló con un aglutinante, agua y se mezcló durante 5 minutos. Las composiciones de las mezclas iniciales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 3

N.	Nombre	Composición							Densidad kg/m3
		CEMI 52,5 R	CENIZAS VOLANTES	TOTAL AGLUTIN.	b.h. ef.	b.h. tot	Agregados 0/4 esféricos	Aditivos [kg/m3] Floculante Aniónio	
		kg/m3	kg/m3	kg/m3					
1	Arena 0/4 triturada-V1	45	0	45	3	3,5	2201	0,75	2403,50
2	Arena 0/4 triturada-V2	97	0	97	1	1,233	2258	0,5	2474,60
3	Arena 0/4 triturada-V3	143	0	143	1	1,147	2097	0,5	2404,02
4	Arena 0/4 triturada-V4	31,5	13,5	45	2,73	3,224	2230	0,75	2363,06
5	Arena 0/4 triturada-V5	68	29,2	97,2	1	1,23	2250	0,75	2401,64
6	Arena 0/4 triturada-V6	100	43	143	1	1,14	2087	0,5	2301,00
7	Arena 0/4 triturada-V7	51	22	73	1	1,313	2336	0,75	2453,96
8	Arena 0/4 triturada-V8	16	7	23	4,67	5,7	2293	0,75	2400,20
9	Arena 0/4 triturada-V9	23	0	23	3,7	4,68	2351	0,5	2481,64
10	Arena 0/4 triturada-V10	73	0	73	1,19	1,487	2311	0,5	2492,55
11	Arena 0/4 triturada-V11	31,5	13,5	45	2,73	3,224	2230	0,75	2363,06
12	Arena 0/4 triturada-V12	16	7	23	4,67	5,7	2293	0,75	2400,20
13	Arena 0/4 triturada-V13	23	23	46	2,73	3,222	2228	0,75	2395,00
14	Arena 0/4 triturada-V14	12	12	24	4,67	5,625	2277	0,75	2413,00
15	Arena 0/4 triturada-V15	14	32	46	2,73	3,222	2225	0,75	2393,00
16	Arena 0/4 triturada-V16	8	18	26	4,67	5,58	2262	0,75	2404,00

Después del agregado de floculante, se formaron las esferas, las esferas luego se dejaron secar al aire durante 24 horas a una temperatura promedio de 16 °C. Las propiedades de dichas esferas se presentan en la Tabla 3 y en la Figura 4.

Tabla 4

N.	Nombre	Módulo de finura (0,063--->4) FMFM	Volum en de pasta [l/m3]	Agglomerabilidad de la materia prima AI	PV/AI	Log10 (PV/AI*100)	FMFM*Log10	FMFM/Log10
1	Arena 0/4 triturada-V1	1,99	149,29	85,32049535	1,75	2,24	4,45769639	0,88606491
2	Arena 0/4 triturada-V2	1,93	127,79	85,32049535	1,50	2,18	4,206282692	0,888787393
3	Arena 0/4 triturada-V3	1,92	188,40	85,32049535	2,21	2,34	4,503722446	0,819688635
4	Arena 0/4 triturada-V4	2,16	138,48	85,32049535	1,62	2,21	4,785148923	0,979458265
5	Arena 0/4 triturada-V5	2,28	130,95	85,32049535	1,53	2,19	4,987969486	1,0437525
6	Arena 0/4 triturada-V6	2,11	192,66	85,32049535	2,26	2,35	4,973597649	0,897743144
7	Arena 0/4 triturada-V7	2,47	98,36	85,32049535	1,15	2,06	5,087821018	1,196902434
8	Arena 0/4 triturada-V8	2,24	115,41	85,32049535	1,35	2,13	4,782411029	1,052952103
9	Arena 0/4 triturada-V9	2,45	92,40	85,32049535	1,08	2,03	4,982965533	1,203701152
10	Arena 0/4 triturada-V10	2,45	110,04	85,32049535	1,29	2,11	5,17016947	1,160720717
11	Arena 0/4 triturada-V11	2,23	138,48	85,32049535	1,62	2,21	4,924623935	1,008007001
12	Arena 0/4 triturada-V12	2,42	115,41	85,32049535	1,35	2,13	5,163269483	1,136806399
13	Arena 0/4 triturada-V13	2,22	142,46	85,32049535	1,67	2,22	4,940922497	1,000147595
14	Arena 0/4 triturada-V14	2,20	120,89	85,32049535	1,42	2,15	4,722294645	1,020321117
15	Arena 0/4 triturada-V15	2,15	143,36	85,32049535	1,68	2,23	4,779515958	0,9651177
16	Arena 0/4 triturada-V16	2,14	131,46	85,32049535	1,54	2,19	4,676208125	0,977018373

A partir de la totalidad de los resultados obtenidos para $FM_{FM}/Log10$, los cuales se presentan en la Tabla 4, puede calcularse la constante promedio, k , para este material.

Tabla 5

FMFM/Log10	
<i>Promedio</i>	1,014824
<i>Varianza</i>	0,013132

La constante k es por lo tanto 1,015. Con esta constante, puede predecirse el módulo de finura de las partículas endurecidas obtenidas con este agregado inicial específico, como una función del volumen de pasta utilizado:

$$FM_{FM} = 1.015 \cdot \log_{10}\left(\frac{PV}{85.32} \cdot 100\right)$$

Las esferas formadas luego se agregaron a hormigón fresco como agregados gruesos.

El método posee las claras ventajas de no sólo permitir la producción de materiales aglomerados, a partir de cualquier material que posea un tamaño de partícula inferior a 30 mm, sino también predecir el módulo de finura de los agregados finales en función del volumen inicial de pasta utilizado.

Por lo tanto, puede saberse, conforme al método de la invención, qué tipo de distribución del tamaño de partícula se obtendrá a partir del volumen inicial de pasta utilizado.

Ejemplo 3

Se calculó la humedad, la densidad, la absorción de agua y el módulo de finura para tres tipos de muestras de arena:

Tabla 6

Muestra	Humedad	Densidad	Absorción de agua
	[%]	[kg/m3]	[%]
Arena L	11,06%	2391	0,31%
Arena M	8,14%	2662	0,80%
Arena S	7,44%	2504	0,38%

Tabla 7

Muestra	Distribución del tamaño de partícula [% de pasaje a través de los siguientes tamices en mm]										
	Fondo	0,0063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	20
Arena L	0,00%	3,00%	12,87%	42,57%	94,25%	99,05%	99,27%	99,45%	99,69%	99,79%	100,00%
Arena M	0,00%	2,67%	14,88%	61,39%	92,88%	95,82%	96,56%	97,18%	97,79%	98,20%	100,00%
ArenaS	0,00%	1,01%	11,26%	92,10%	99,84%	99,96%	99,98%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

A partir de los datos de la Tabla 7, puede calcularse el módulo de finura, así como los parámetros D_{10} y D_{90} :

Tabla 8

Muestra	FM (0,063--->4mm)	D10 buscador manual (lineal)					D90 buscador manual (lineal)				
		D<10	pasaje D<10	D>10	pasaje D>10	D10 lineal	D<90	pasaje D<90	D>90	pasaje D>90	D90 lineal
Arena L	4,50	0,063	3,00%	0,125	12,87%	0,107	0,25	42,57%	0,5	94,25%	0,479
Arena M	4,61	0,063	2,67%	0,125	14,88%	0,100	0,25	61,39%	0,5	92,88%	0,477
ArenaS	5,04	0,063	1,01%	0,125	11,26%	0,117	0,125	11,25%	0,25	92,10%	0,247

A partir de estos datos puede calcularse fácilmente la aglomerabilidad del material:

Tabla 9

Muestra	FM(0,063--->4mm)	Parámetros de tamaño			Aglomerabilidad Finura*(D90/D10)
		D10	D90	D90/D10	
Arena L	4,50	0,107	0,479	4,481943	20,2
Arena M	4,61	0,100	0,477	4,760867	22,0
Arena S	5,04	0,117	0,247	2,102201	10,6

Después de someterse al método de la invención (pasos (a) y (b)), no se obtuvieron esferas, tal como lo predice la Ecuación 1 y la definición de aglomerabilidad.

Por lo tanto, se agregó polvo de by-pass a los tres tipos de arena, en un total de 10 composiciones diferentes (Tabla 10):

Tabla 10

N.	Composición							
	Desechos [kg/m3]				Desechos [% vol]			
	Arena L	ArenaS	Arena M	Polvo bypass	Arena L	ArenaS	Arena M	Polvo bypass
1	1462	0	0	413	80%	0%	0%	20%
2	1233	0	0	348	80%	0%	0%	20%
3	1472	0	0	416	80%	0%	0%	20%
4	0	1244	0	723	0%	65%	0%	35%
5	0	1049	0	610	0%	65%	0%	35%
6	0	1252	0	728	0%	65%	0%	35%
7	0	0	1767	235	0%	0%	88,40%	11,60%
8	0	0	1674	425	0%	0%	80%	20%
9	0	0	1627	413	0%	0%	80%	20%
10	0	0	1373	348	0%	0%	80%	20%

Se calculó el módulo de finura para las 10 composiciones nuevas (Tabla 11):

Tabla 11

N.	Propiedades del material endurecido								Módulo de finura (0,063--- >4) FM _{RM}	Volum en de pasta [l/m3]	Aglomerabilidad de la material prima AI	PV/AI	Log10 (PV/AI* 100)	k
	Distribución del tamaño de partícula [% de pasaje a través de los siguientes tamices en mm]													
	Fondo	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4						
1	0,00%	0,26%	1,62%	9,62%	32,00%	47,42%	74,75%	90,88%	2,57	499,21	73,9751197	6,75	2,83	0,9068
2	0,00%	0,59%	1,77%	6,62%	8,33%	9,15%	10,51%	15,22%	0,52	570,85	73,9751197	7,72	2,89	0,1807
3	0,00%	0,27%	2,05%	11,99%	37,27%	55,99%	73,63%	88,19%	2,69	496,57	73,9751197	6,71	2,83	0,9529
4	0,00%	0,73%	3,01%	10,50%	22,13%	48,62%	74,64%	88,28%	2,48	557,59	76,56763173	7,28	2,86	0,8661
5	0,00%	0,40%	6,29%	8,09%	9,53%	10,13%	15,88%	32,84%	0,83	589,96	76,56763173	7,71	2,89	0,2881
6	0,00%	0,23%	1,70%	9,96%	33,65%	61,79%	74,53%	85,69%	2,68	559,15	76,56763173	7,30	2,86	0,9344
7	0,00%	1,25%	4,98%	27,17%	44,33%	49,55%	60,19%	76,13%	2,64	429,08	36,29034817	11,82	3,07	0,8579
8	0,00%	0,04%	1,80%	19,00%	44,70%	54,88%	76,03%	92,56%	2,89	443,80	73,74055245	6,02	2,78	1,0398
9	0,00%	0,37%	1,92%	9,18%	27,48%	35,01%	52,11%	74,77%	2,01	458,58	73,74055245	6,22	2,79	0,7189
10	0,00%	0,39%	1,73%	7,42%	11,99%	15,73%	37,71%	64,32%	1,39	505,47	73,74055245	6,85	2,84	0,4911

Mejoró la aglomerabilidad del material y se formaron esferas, utilizando un diseño de mezcla conforme a la Tabla 12.

Tabla 12

N.	Composición													Densidad
	CEMI 42,5N	b.h. ef.	b.h. tot	Desechos [kg/m3]				Porcentaje considerado como finos [% vol]				Aditivos [kg/m3]		
	kg/m3			Arena	Arena	Arena	Polvo bypass	Arena L	Arena S	Arena M	CEMI 42,5N	Polvo bypass	Floculante	
1	50	4	4,09	1462	0	0	413	3,00%	1,01%	2,67%	95,71%	80,06%	0,75	2130,25
2	300	0,8	0,813	1233	0	0	348	3,00%	1,01%	2,67%	95,71%	80,06%	0,75	2125,65
3	30	6,7	6,866	1472	0	0	416	3,00%	1,01%	2,67%	95,71%	80,06%	0,75	2124,73
4	50	4,8	4,808	0	1244	0	723	3,00%	1,01%	2,67%	95,71%	80,06%	0,75	2258,15
5	300	0,8	0,813	0	1049	0	610	3,00%	1,01%	2,67%	95,71%	80,06%	0,75	2203,65
6	30	8	8,2	0	1252	0	728	3,00%	1,01%	2,67%	95,71%	80,06%	0,75	2256,75
7	78	2,62	2,8	0	0	1767	235	3,00%	1,01%	2,67%	95,71%	80,06%	0,75	2299,15
8	28	6,6	7,08	0	0	1674	425	3,00%	1,01%	2,67%	95,71%	80,06%	0,75	2325,99
9	50	4	4,26	0	0	1627	413	3,00%	1,01%	2,67%	95,71%	80,06%	0,75	2303,75
10	300	0,7	0,733	0	0	1373	348	3,00%	1,01%	2,67%	95,71%	80,06%	0,75	2241,65

Este experimento muestra que con el método conforme a la invención es posible aglomerar un material finamente dividido, incluso cuando dicha aglomeración inicialmente no parezca posible.

Ejemplo 4

Este ejemplo se llevó a cabo para ensayar el efecto del agregado de pigmentos en la mezcla. Se prepararon 7 muestras, una utilizando sólo cemento blanco, un material finamente dividido (arena), agua y un floculante, conforme al método de la invención, y las otras 6 se prepararon en forma similar, sólo [que] con el agregado de seis pigmentos diferentes a base de óxidos en el paso a). Todos los pigmentos se agregaron a una concentración equivalente a 5 kg/m³.

Tabla 13

N.	Nombre	Propiedades del material endurecido						
		CEMI 52,5 blanco	b.h. ef.	b.h. tot	Agregados		Aditivos [kg/m3]	
		kg/m3			0/4 esféricos	0/4 triturados	Floculante	Pigmentos
1	Grava de arena- blanco	300	0,7	0,76	0%	100%	0,5	
2	Grava de arena- cem blanco +rojo	300	0,7	0,76	0%	100%	0,5	rojo
3	Grava de arena- cem blanco +verde	300	0,7	0,76	0%	100%	0,5	verde
4	Grava de arena- cem blanco +amarillo	300	0,7	0,76	0%	100%	0,5	amarillo
5	Grava de arena- cem blanco +negro	300	0,7	0,76	0%	100%	0,5	negro
6	Grava de arena- cem blanco +verde+amarillo	300	0,7	0,76	0%	100%	0,5	verde+amarillo
7	Grava de arena- cem blanco +azul	300	0,7	0,76	0%	100%	0,5	azul

Las diferentes muestras se mezclaron durante 10-15 minutos después del agregado de floculante. Se formaron agregados esféricos en los 7 ejemplos; los pigmentos no tuvieron un efecto negativo sobre las esferas obtenidas.

Las muestras con pigmentos se aglomeraron en la misma forma que la muestra 1, la cual no tenía pigmentos. El tamaño de los agregados producidos fue similar. La Tabla 14 y la Tabla 15 muestran un promedio de las propiedades de los agregados producidos.

Tabla 14

N.	Nombre	Propiedades del material endurecido								
		Los Angeles	Distribución del tamaño de partícula [%de pasaje a través de los]							
		7 días	Fondo	0,064	0,125	0,25	0,5	1	2	4
1	Grava de arena- blanco	47,2	0,00%	1,13%	3,08%	4,59%	5,71%	7,46%	15,62%	36,60%
2	Grava de arena- cem blanco +rojo									
3	Grava de arena- cem blanco +verde									
4	Grava de arena- cem blanco +amarillo									
5	Grava de arena- cem blanco +negro									
6	Grava de arena- cem blanco +verde+amarillo									
7	Grava de arena- cem blanco +azul									

Tabla 15

N.	Nombre	Módulo de finura	Volumen de pasta [l/m3]	Agglomerabilidad de la materia prima	PV/AI	Log10 (PV/AI*100)	k
1	Grava de arena- blanco	0,74	323	199	1,62	2,21	0,335567972
2	Grava de arena- cem blanco +rojo						
3	Grava de arena- cem blanco +verde						
4	Grava de arena- cem blanco +amarillo						
5	Grava de arena- cem blanco +negro						
6	Grava de arena- cem blanco +verde+amarillo						
7	Grava de arena- cem blanco +azul						

Conforme al método de la invención, puede predecirse el módulo de finura de los gránulos producidos, y por lo tanto cuán fino o grueso será el material final, mediante la fórmula:

$$FM_{FM} = 0.336 \cdot \log_{10} \left(\frac{PV}{199} \cdot 100 \right)$$

Los agregados producidos pueden utilizarse para producir patrones en una senda en un parque

municipal.

Ejemplo 5

En ejemplo, se ensayó una materia prima diferente de arena, específicamente ladrillo triturado. En primer lugar, se caracterizó la materia prima (Tablas 16- 19):

Tabla 16

Muestra	Distribución del tamaño de partícula [% de pasaje a través de los siguientes tamices en mm]							
	Fondo	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4
Ladrillo triturado-0/4	0,00%	0,96%	5,23%	14,28%	26,16%	43,41%	79,27%	100,00%

Tabla 18

Muestra	D10 buscador manual (lineal)				
	D<10	pasaje D<10	D>10	pasaje D>10	D10 lineal
Ladrillo triturado- 0/4	1,25E-01	5,23%	2,50E-01	14,28%	0,191

Tabla 19

Muestra	D90 buscador manual (lineal)				
	D<90	pasaje D<90	D>90	pasaje D>90	D90 lineal
Ladrillo triturado- 0/4	2	79,27%	4	100,00%	3,035

Tabla 20

Muestra	FM (0,063--->4mm)	Parámetros de tamaño			Aglomerabilidad
		D10	D90	D90/D10	FM*(D90/D10)
Ladrillo triturado- 0/4	2,69	0,191	3,035	15,90	43

Se prevé que el material puede granularse con facilidad.

Se prepararon diez diseños de mezcla conforme al método de la invención:

Tabla 21

N.	Nombre	Composición							Densidad
		CEMI 52,5R Vigier	CEN. VOL.	AGLUTIN. TOTAL			Agregados	Aditivos [kg/m3]	
		kg/m3	kg/m3	kg/m3			Ladrillo triturado 0/4	Floculante	
1	Grava de ladrillo-v1	16	7	23	3	10,4	1626	0,75	1808,40
2	Grava de ladrillo-v2	33	15	48	1,3	4,848	1622	0,75	1814,98
3	Grava de ladrillo-v3	23	0	23	3,6	10,91	1602	0,75	1875,93
4	Grava de ladrillo-v4	45	0	45	2	5,677	1576	0,75	1876,47
5	Grava de ladrillo-vS	300	0	300	0,7	1,186	1214	1,5	1869,80
6	Grava de ladrillo-v6	400	0	400	0,6	0,89	1103	0,75	1859,00
7	Grava de ladrillo-v7	250	0	250	0,6	1,153	1351	0,75	1889,25
8	Grava de ladrillo-v8	300	0	300	0,6	1,049	1268	1,5	1882,70
9	Grava de ladrillo-v9	250	0	250	0,8	1,34	1261	1,5	1846,00
10	Grava de ladrillo-v10	200	0	200	1	1,657	1289	1,5	1820,40

Los resultados se resumen en las Tablas 22 y 23:

Tabla 22

N.	Nombre	Distribución del tamaño de partícula [% de pasaje a través de los siguientes tamices en mm]							
		Fondo	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4
1	Grava de ladrillo-v1	0,00%	1,55%	3,75%	9,11%	17,58%	34,81%	74,87%	99,87%
2	Grava de ladrillo-v2	0,00%	2,22%	6,07%	13,19%	22,58%	39,28%	77,93%	99,91%
3	Grava de ladrillo-v3	0,00%	0,63%	1,30%	2,78%	9,53%	25,81%	68,58%	99,80%
4	Grava de ladrillo-v4	0,00%	0,60%	1,33%	2,34%	6,31%	24,18%	65,65%	99,32%
5	Grava de ladrillo-vS	0,00%	0,15%	0,34%	0,48%	0,64%	0,93%	2,67%	10,93%
6	Grava de ladrillo-v6	0,00%	0,16%	0,54%	0,76%	1,01%	1,50%	4,40%	17,20%
7	Grava de ladrillo-v7	0,00%	0,08%	0,22%	0,35%	0,50%	1,22%	11,16%	39,39%
8	Grava de ladrillo-v8	0,00%	0,11%	0,20%	0,27%	0,34%	0,49%	3,46%	13,55%
9	Grava de ladrillo-v9	0,00%	0,08%	0,25%	0,45%	0,70%	1,40%	8,55%	30,32%
10	Grava de ladrillo-v10	0,00%	0,10%	0,42%	0,69%	1,05%	1,95%	9,91%	30,48%

Tabla 23

N.	Nombre	Módulo de Finura (0,063--- >4)	Volum en de pasta [l/m3]	Agglomerabilidad de la materia prima	PV/Al	Log10 (PV/Al*100)	k
PROMEDIO	Grava de Ladrillo	1,11	207,02	42,82	4,83	2,62	0,47

$$FM_{FM} = 0.47 \cdot \log_{10} \left(\frac{PV}{43} \cdot 100 \right)$$