

MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO CON MATERIAL POLIMÉRICO

CAMPO DE LA INVENCIÓN

[0001] La presente invención se relaciona con el desarrollo de formulaciones de concreto, particularmente con formulaciones de concreto compuestas con materiales poliméricos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

[0002] La arena se utiliza en una variedad de aplicaciones de construcción y construcción. Por ejemplo, la arena forma parte integral de las mezclas de hormigón que se utilizan en la construcción y la construcción. Las mezclas de arena también se utilizan para aplicaciones especializadas como la construcción de parques infantiles. Las modificaciones en un producto de arena pueden permitir mejoras en la resistencia, durabilidad y otros atributos deseables de aquellos materiales que utilizan arena como componente.

[0003] La arena desnuda sola o mezclada con otros componentes se puede utilizar como material adyuvante para la construcción especializada. Por ejemplo, el material absorbente de impactos especializado utilizado en los parques infantiles suele ser una mezcla de partículas de arena y caucho finamente triturado. Sin embargo, estos materiales disímiles tienden a segregarse, con las finas partículas de caucho migrando a la superficie donde puede ser arrastrado por el viento. Sigue habiendo una necesidad en el arte de mejorar los materiales de construcción especiales utilizando arena desnuda y otras partículas finas similares.

[0004] Un importante material de construcción que emplea arena es el hormigón. El concreto, formado a partir de cemento, agua y partículas agregadas, es un compuesto cementicio. En un compuesto cementicio, el cemento y el agua se combinan para formar una pasta que recubre la superficie de las partículas agregadas, uniéndolas en una aglomeración. El mortero, la lechada y el estuco son otros ejemplos de compuestos cementicios. Los agregados utilizados con cemento para formar compuestos cementicios pueden ser partículas finas (como arena) o partículas gruesas (como grava o piedra triturada); los agregados suelen representar el 60-75% del volumen del compuesto cementicio. A medida que los componentes químicos del cemento se hidratan, el sustrato intersticial que une los agregados se endurecerá y ganará fuerza, en un proceso llamado curado.

[0005] El cemento, el agente aglutinante que mantiene unidos los agregados finos o gruesos en el concreto, está hecho principalmente de piedra caliza (carbonato de calcio) y sílice. Calentados a alta temperatura en un gran horno giratorio, estos ingredientes se fusionan para formar gránulos denominados "clínker", que luego se pulverizan en polvo de cemento fino. Por ejemplo, para el cemento Portland, el carbonato de calcio se calienta con minerales de silicato en un horno a más de 1400 ° C para producir clínker de cemento Portland. La reacción entre el óxido de calcio y la sílice da como resultado silicato dicálcico y silicato tricálcico, los componentes principales del cemento Portland. El aluminato tricálcico y la aluminoferrita tetracálcica también se forman cuando los compuestos de aluminio y hierro están presentes en el alimento. Otras impurezas pueden conducir a una química y variaciones del cemento mucho más complejas. A veces, los desechos industriales, como las cenizas volantes, se agregan intencionalmente.

[0006] La industria del cemento es conocida como la más intensiva en energía de todas las industrias manufactureras, y se prevé que el consumo de energía para la fabricación de cemento aumente en un 75% entre 2010 y 2040, según el informe Anual de Perspectivas energéticas (<http://www.eia.gov/forecasts/aeo/>) 2013 de la Administración de Información de

Energía de los Estados Unidos. La producción de cemento también tiene un gran impacto en las emisiones de gases y partículas, incluyendo CO₂, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre. Todo esto pone de relieve la necesidad de métodos mejorados para el uso eficiente del cemento, y sigue siendo necesario mejorar los métodos para maximizar la cantidad de hormigón producido a partir de una cantidad determinada de cemento.

[0007] El cemento Portland es el tipo más común de cemento. Más de cuatro mil millones de toneladas de cemento se producen por año en todo el mundo, gran parte de las cuales es cemento Portland. El cemento Portland se compone de cinco ingredientes químicos principales en orden decreciente de presencia: silicato tricálcico (aproximadamente 50% en peso), silicato dicálcico (aproximadamente 25%), aluminato tricálcico (aproximadamente 10%), aluminoferrita tetracálcica (aproximadamente 10%) y yeso (aproximadamente 5%). Cuando las mezclas de concreto se preparan mezclando el polvo de cemento Portland seco y los rellenos de partículas con agua, la hidratación ocurre con los diversos ingredientes del cemento. Los cristales de hidratación en crecimiento hacen que todo el sistema se una a un compuesto fuerte a medida que se cura.

[0008] El comportamiento del silicato tricálcico en el cemento ilustra los intrincados y evolutivos procesos químico-físicos denominados curación del cemento. Inmediatamente después de la adición de agua, el silicato tricálcico reacciona rápidamente, formando hidrato de silicato de calcio, generando simultáneamente iones de calcio, iones de hidróxido y una gran cantidad de calor (Etapa I). El pH de la suspensión (o pasta) aumenta rápidamente a más de 12 como resultado de la liberación de iones de hidróxido alcalino (OH⁻). Esta explosión inicial de hidrólisis se ralentiza poco después de que comienza, generalmente en cuestión de minutos, lo que resulta en una disminución del calor liberado. Sin embargo, la reacción de hidratación continúa, aunque lentamente, durante este período "latente" que dura varias horas (Etapa II), generando constantemente iones de calcio e hidróxido hasta que los iones se saturan. Una vez que esto ocurre, el hidróxido de

calcio sólido comienza a cristalizar. Simultáneamente, el hidrato de silicato de calcio comienza a formarse. Los iones se caen de la solución debido a la precipitación, acelerando la reacción del silicato tricálcico para formar aún más iones de calcio e hidróxido. La tasa de liberación de calor aumenta nuevamente, con un período de producción máxima de calor que ocurre entre 10 y 20 horas después de la mezcla (Etapa III). El hidróxido de calcio emergente y los cristales de hidrato de silicato de calcio proporcionan "semillas" nucleantes, a las que se adhieren más cristales. Los cristales forman una cáscara gruesa, lo que dificulta que las moléculas de agua se difundan y alcancen bolsas protegidas de silicato tricálcico no hidratado. En esta etapa, la curación adicional del cemento está controlada por la velocidad a la que las moléculas de agua se difunden a través de la cáscara del hidrato de silicato de calcio. La cáscara sólida se espesa con el tiempo, ralentizando aún más la producción de hidrato de silicato de calcio.

[0009] Este complicado proceso de curado está influenciado por muchos factores, incluida la cinética de hidratación, la solubilidad de la sal, la temperatura, la humedad, el contenido inicial de agua, la dispersión de la mezcla y la tasa de migración del agua a través de cáscaras de cristal, grietas microscópicas e imperfecciones. La resistencia del hormigón depende críticamente de las alteraciones estructurales microscópicas que se producen durante esta reacción de hidratación (curado). Se sabe que el concreto continúa el proceso de curado durante un largo período de tiempo, durante años o incluso décadas. El resultado final es a menudo una morfología porosa donde la solución de hidróxido de calcio llena los vacíos entre las cáscaras de hidrato de silicato de calcio (con o sin núcleo de cemento interior residual no hidratado).

[0010] En una mezcla típica de concreto, el cemento es el material más caro en la formulación, que comprende alrededor del 13 al 15%. La arena comprende aproximadamente el 30% de una formulación de concreto, mientras que los componentes gruesos comprenden aproximadamente el 40%. Las partículas de arena, aunque son un componente más pequeño de una formulación de concreto,

tienen un área de superficie más grande para interactuar con la matriz cristalina del compuesto de cemento. Por lo tanto, la arena es un sustrato ideal para ser explotado para entregar productos químicos desde su superficie al concreto y para adaptar las propiedades físico-químicas del cemento. El fortalecimiento del hormigón, por ejemplo, se puede lograr mejorando la adhesión entre el cemento y la arena.

[0011] Aparte del cemento y los materiales particulados, el resto de la formulación del hormigón es agua y aire. La mayoría del concreto tiene una cierta cantidad de arrastre de aire, generalmente en el rango de un pequeño porcentaje por volumen. En una formulación típica de concreto, el agua se utiliza para permitir el flujo, es decir, la trabajabilidad, y causa la hidratación de los óxidos. El agua generalmente comprende alrededor del 15 al 20% de la formulación de concreto; Cantidades excesivas de agua a menudo conducen a estructuras finales más débiles.

[0012] Se entiende que la cantidad de agua utilizada para preparar la mezcla de concreto es un factor importante que influye tanto en la facilidad de procesamiento como en la morfología final. En general, la resistencia del hormigón aumenta cuando se agrega menos agua. El concreto en realidad se mezcla con más agua de la que se necesita para todas las reacciones de hidratación estequiométricamente, ya que la reacción de hidratación en sí solo consume una cantidad limitada. El agua extra es necesaria para dar al hormigón suficiente trabajabilidad y fluidez. Estas características son importantes para permitir el llenado adecuado de moldes / formas y para liberar burbujas de aire gruesas tras la vibración o compactación. El concreto de alta calidad se produce al reducir la relación agua-cemento tanto como sea posible sin sacrificar la trabajabilidad del concreto fresco. La industria ha estado buscando formas de mejorar la fluidez en la formulación de hormigón sin un mayor uso de agua.

[0013] El agua extra no consumida por las reacciones de hidratación termina quedando atrapada en espacios de poros microestructurales; algunos poros, con

agua atrapada, permanecerán a pesar de la compactación. Estos poros debilitan en gran medida el compuesto resultante porque carecen de enlaces de hidrato de silicato de calcio formadores de fuerza. A medida que el compuesto se debilita, es susceptible a agrietarse y picar. Los poros en el compuesto perjudican su resistencia, en particular las propiedades de tracción, por lo que los refuerzos (por ejemplo, barras de refuerzo) son necesarios para muchas aplicaciones estructurales. Por lo tanto, sigue siendo necesario en el arte minimizar el impacto del agua residual en la resistencia del compuesto cementicio.

[0014] Como una necesidad adicional en el arte, sería ventajoso mejorar la trabajabilidad y / o fluidez de una mezcla de concreto. El fraguado de concreto o curado de cemento es un proceso exotérmico que generalmente tiene lugar en tres etapas, como se describió anteriormente. Los compuestos cementicios son generalmente viables durante la primera mitad de la Fase II, después de lo cual la mezcla se vuelve demasiado rígida para ser manipulada o formada. En el uso actual, los materiales de mezcla se utilizan para acelerar o retrasar el fraguado del concreto. Sin embargo, algunos de estos agentes tienen desventajas conocidas en el arte. Además, dado que solo se agregan cantidades diminutas de tales materiales de mezcla, es difícil lograr una mezcla eficiente y una distribución uniforme. Por lo tanto, la trabajabilidad y la fluidez siguen siendo desafíos, si se desea evitar el exceso de agua en la mezcla, con su consiguiente efecto en la reducción de la resistencia del compuesto curado.

[0015] Una categoría clave de aditivos químicos para mejorar las propiedades de manejo del cemento incluye plastificantes y superplastificantes, como los polímeros que tienen grupos funcionales de óxido de etileno y ácido carboxílico. Estos polímeros se utilizan como dispersantes para minimizar la agregación de partículas y mejorar la reología de las suspensiones lubricando el sistema y promoviendo el flujo, de modo que se requiere menos agua para estos fines. Otros aditivos químicos también pueden ser útiles. Los aditivos químicos se pueden clasificar de acuerdo con cinco funciones principales que ofrecen: arrastre de aire,

reducción de agua, retardo, aceleración y plastificación (superplastificante). Otras funciones especializadas incluyen inhibición de la corrosión, reducción de la contracción, reducción de la reactividad de la álcali-sílice, mejora de la trabajabilidad, unión, protección contra la humedad y coloración.

[0016] Actualmente, los aditivos químicos simplemente se mezclan en la formulación de hormigón durante el procesamiento. Sin embargo, la naturaleza heterogénea de la mezcla de hormigón interfiere con la disolución efectiva y la distribución uniforme de estos aditivos a lo largo de la formulación. Por lo tanto, sigue habiendo una necesidad en el arte de aditivos químicos que puedan dispersarse de manera inmediata, directa y eficaz en la formulación de concreto, y su funcionalidad prevista se vuelva efectiva al contacto con el agua.

[0017] Los materiales compuestos generalmente consisten en una pieza de polímero y uno o más tipos de aditivos. Los polímeros y aditivos se han mezclado típicamente durante la preparación del material compuesto. En el material compuesto resultante a menudo solo hay interacciones débiles entre el polímero y los componentes aditivos; sin embargo, la interacción también puede ser fuerte, a veces el polímero y el aditivo incluso se mantienen unidos por un enlace covalente. Las características del material compuesto, como, por ejemplo, la resistencia a menudo se ven comprometidas como resultado de esta interacción débil entre los diferentes componentes del material compuesto.

[0018] Los morteros de cemento ordinarios generalmente se mejoran mediante la introducción de polímeros no reactivos en la matriz de cemento. Los polímeros típicos son acrílicos, acrílicos de estireno, acetatos de vinilo o vinilideno, acetatos de vinilo de etileno y copolímeros de estireno butadieno. Dichos polímeros se utilizan en forma de dispersiones a base de agua o como polvos redispersables, generalmente obtenidos por secado por pulverización de la dispersión correspondiente. Tales morteros modificados con polímeros suelen ser fáciles de aplicar y no peligrosos. Pero, aunque los polímeros mejoran las propiedades de los

morteros de cemento ordinarios, el rendimiento de dichos morteros modificados con polímeros todavía está muy lejos del de los productos cementicios que contienen polímeros reactivos, como las resinas epoxi como, por ejemplo, en Sikagard-720® EpoCem® (de Sika), o los poliuretanos que contienen isocianato como, por ejemplo, en Sika- floor-20® PurCem® (de Sika). Sin embargo, el manejo y aplicación de morteros que contienen polímeros reactivos es mucho más complicado. Requiere el manejo de materiales peligrosos, lo que necesita trabajadores especialmente capacitados y calificados y equipos especiales. Por lo general, ambos no están disponibles en sitios de construcción ordinarios.

[0019] Las dispersiones de poliuretano se conocen porque permiten materiales con alto rendimiento mecánico. Se utilizan principalmente para recubrimientos de alta calidad en diversos campos de aplicación. Contienen un polímero de poliuretano disperso y no reactivo, que generalmente se estabiliza mediante grupos aniónicos o catiónicos incorporados. Sin embargo, el uso de tales dispersiones de poliuretano en sistemas cementicios no es común y difícil. Los electrolitos fuertes en los sistemas cementitious suelen perturbar la estabilidad de las partículas de poliuretano dispersas, lo que resulta en la coagulación de la dispersión. Esto causa un engrosamiento inmediato al mezclar la dispersión con un material cementicio y la formación de una masa sólida no homogénea. A menudo, hay un olor inmediato, desagradable, similar al amoníaco al mezclar, causado por la liberación de un contraión a base de aminas de dispersión de poliuretano aniónico.

[0020] El estado del arte enseña diferentes composiciones de concreto liviano que comprende agregados poliméricos. Es así como la solicitud de patente PA8493501, titulada "Formulación de Concreto", la cual se incorpora acá en su totalidad a modo de referencia, enseña Aditivo que se utiliza en la preparación de hormigón liviano. Dicho aditivo incluye una mezcla de entre aproximadamente 40% y 99% de material polimérico orgánico y entre 1% aproximadamente 60% de un agente de intercalación de aire. El aditivo es particularmente adecuado para la

preparación de hormigón liviano que utiliza agregado de poliestireno. Provee una excelente dispersión del poliestireno y el aglutinante de cemento circundante. La formulación de hormigón liviano resultante puede ser bombeada y es particularmente adecuada para la construcción de paredes tipo sándwich.

[0021] Por otro lado, la patente de Brasil No. BR102016008498, titulada “Concreto liviano con residuos poliméricos expandidos”, la cual se incorpora acá en su totalidad a modo de referencia, enseña un hormigón ligero compuesto por áridos sintéticos y cemento, destinado a su aplicación en subsuelos, es decir, revestimiento de losas. la invención utiliza como agregados una mezcla de residuos poliméricos y polvo de caucho vulcanizado, ambos expandidos, que reemplazan totalmente a los agregados naturales. el hormigón ligero de la invención tiene la siguiente composición, en masa: · 50% a 80% cemento; · 1% a 20% de polvo de caucho vulcanizado y expandido; · 10% a 40% de residuos poliméricos granulados y expandidos. los principales residuos poliméricos utilizados para esta aplicación consisten preferentemente en: copolímero de etileno y acetato de vinilo, poli(estireno-butadieno), poliuretano, poli(etilenopropilendieno), polibutadieno, caucho natural y/o poli(acrilonitrilo-butadieno). los residuos poliméricos a utilizar pueden consistir en un solo tipo de polímero o una combinación de diferentes polímeros. el rango granulométrico de los residuos poliméricos está preferentemente entre 0,075 mm y 10 mm.

[0022] En conclusión, sigue habiendo necesidades insatisfechas en el arte de tecnologías consistentes, predecibles, que conserven energía y rentables para crear una mezcla de concreto viable, fluida e incluso maleable que sea adecuada para una amplia gama de usos de construcción. Sigue habiendo una necesidad adicional en el arte de mejorar la fluidez y la trabajabilidad de las mezclas cementicias, sin afectar la resistencia del compuesto curado. Además, existe una necesidad continua en el arte de producir una mezcla de concreto autonivelante, resistente a las grietas, fuerte y de textura suave, donde estas propiedades se derivan de la fluidez de la mezcla.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0023] En las modalidades, las composiciones y métodos descritos en este documento se relacionan con materiales compuestos cementosos de alto rendimiento. En las realizaciones, el material compuesto cementoso puede ser un concreto, un mortero, una lechada, un estuco o cualquier otro compuesto donde un agregado se une con un cemento fluido. En las realizaciones, el cemento puede ser un cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico. En las modalidades, el agregado utilizado en la formación de un material compuesto cementoso comprende partículas gruesas y partículas finas o simplemente partículas finas. Las partículas finas son generalmente partículas de arena natural o piedra pulverizada, con la mayoría de las partículas que pasan a través de un tamiz de 0.95 cm; las partículas gruesas son mayores en tamaño que 0.48 cm, pero generalmente oscilan entre 0.95 y 3.8 cm de diámetro. Dichos materiales agregados finos útiles para compuestos de concreto se denominarán "agregados finos" en este documento.

[0024] La presente solicitud se relaciona con composiciones cementosas, particularmente con mezclas de concreto, que incorporan partículas de polímero, seleccionadas de poliuretano, etilen vinil acetato (EVA) y mezclas de los mismos; en donde el poliuretano es preferiblemente poliuretano reciclado proveniente de industrias tales como la del calzado, automotriz, construcción o similares. Tanto el poliuretano como el EVA se adicionan para sustituir los agregados pétreos (areno o grava). La adición de poliuretano y EVA proporciona una composición cementosa de menor peso.

[0025] La mezcla cementosa de acuerdo con la presente invención sustituye la arena por una mezcla de partículas de polímeros con tamaños de partícula de entre alrededor de 1 μm y alrededor de 3 cm, sustituyendo entre alrededor del 1% y alrededor del 50% de la arena con la mezcla de polímeros. En una modalidad, la mezcla de polímeros comprende una mezcla de poliuretano y EVA que tiene entre

alrededor de 50% de poliuretano hasta alrededor de 99% de poliuretano, preferiblemente entre alrededor de 60% y alrededor de 90%, más preferiblemente entre alrededor de 75% y alrededor de 85%, dependiendo de las propiedades mecánicas y de trabajo deseadas de la composición cementosa que se deseen obtener. En otras modalidades, la mezcla puede comprender entre alrededor de 50% de EVA y alrededor de 99% de EVA, preferiblemente entre 60% y 90%, y más preferiblemente entre 75% y 85%, dependiendo de las propiedades mecánicas y de trabajo de la composición cementosa que se deseen obtener.

[0026] La composición cementosa de acuerdo con la presente invención comprende, un aglutinante seleccionado de cemento Portland, yeso, cenizas volantes, pozolana, y mezclas de los mismos; arena, agregados pétreos y agua. Las composiciones cementosas de acuerdo con la presente solicitud son homogéneas, con mayor plasticidad y facilidad al momento de mezclar, donde el poliuretano y el EVA generan un efecto aglutinante que aporta mayor compactación.

[0027] Otras propiedades de la composición reclamada comprenden una reducción en peso, de entre alrededor del 15% y alrededor del 20%, de la composición; al reemplazar los agregados pétreos con polímeros, los productos resultantes tienen mejores propiedades aislantes térmicas; la adición de los polímeros le da más flexibilidad y elasticidad a los productos obtenidos y mejora las propiedades de aislamiento acústico.

Ejemplos de formulaciones cementosas con poliuretano y EVA

[0028] El programa experimental comprende la elaboración de un total de 6 mezclas de concreto, bajo los siguientes escenarios:

Presión	Cemento C	Arena A	Grava G
3000 psi	1	2	2 ½
Relación agua/cemento	0.52		

- Formulación tradicional (sin adición de PU recuperado) (2 muestras)
- Mezclas de concreto reemplazando el 25% de la arena (2 muestras) con PU + EVA recuperado
- Mezclas de concreto reemplazando el 50% de la arena (2 muestras) con PU + EVA recuperado

[0029] Posteriormente se realiza el ensayo de 6 especímenes cilíndricos

Características del Poliuretano PU empleado

[0030] **Origen:** Poliuretano (PU) postindustria 100% material recuperado procedente de procesos de inyección o vaciado de diferentes industrias, con tamaño de partícula fino. Material que ya reaccionó bajo condiciones previas de trabajo de inyección.

Parámetro	Valor
Textura	Material triturado fino
Tamaño de partícula	De 1 micra a 3 cm
Color	Variedad de colores sujeto a la formulación original
Porcentaje de material reciclado (% en peso)	100%
Densidad libre g/lt	290 / 310
Dureza Shore A	55 (± 3)
Resistencia a la tensión Kg / cm ²	4.0 / 4.5
Elongación hasta punto de quiebre %	450-550
Resistencia a la abrasión mg	< 100
Resistencia a la flexión (sin grietas)	0

Características del Etileno Vinil Acetato EVA empleado

[0031] **Origen:** Etileno Vinil Acetato EVA postindustria 100% material recuperado procedente de procesos de inyección, con tamaño de partícula fino. Material que ya reaccionó bajo condiciones previas de trabajo de inyección.

Parámetro	Valor
Textura	Material triturado fino
Tamaño de partícula	De 1 micra a 3 cm
Color	Variedad de colores sujeto a la formulación original
Porcentaje de material reciclado (% en peso)	100%
Índice de fluidez	2.0 g./10 min.
Densidad	0.935 gr./cc
Dureza Shore A	76
Dureza Shore D	36
Resistencia a la tensión al cede psi (Mpa)	760 (5.2)
Resistencia a la tensión a la ruptura psi (Mpa)	1,660 (11.4)
Elongación a la ruptura %	>800
Módulo de flexión psi (Mpa)	8,750 (60)

Materiales:

Cemento de uso general

Agregado fino tipo arena de río

Agregado grueso tipo grava

Poliuretano + EVA en grano de 1 micra a 3 cm de dimensión

Agua

Mezclas:

[0032] El diseño de las mezclas se realizó siguiendo los parámetros de la tabla anterior, con una relación agua/cemento constante $a/c = 0.52$. Las dosificaciones de PU + EVA recuperado corresponden a porcentajes de adición de 0%, 25% y 50% de la unidad de medida de la arena. Estas dosificaciones se

plantean para mejorar condiciones termoacústicas y restringir la formación de fisuras.

[0033] La mezcla polimérica se conforma por Poliuretano y EVA en un rango entre 50/50 hasta 99/01 según las propiedades que se deseen adquirir al final de la mezcla. El rango puede ser más Poliuretano que EVA o viceversa.

Método: Cilindros para pruebas de concreto, morteros y grouting

Diámetro: 4 pulgadas (100 mm)

Altura: 8 pulgadas (200 mm)

Pared con espesor de 0,18 pulgadas (4.5 mm)

Procedimiento:

[0034] Para la correcta realización de la prueba, es necesario cumplir con rigurosidad el siguiente procedimiento:

1. Pesaje de los cilindros vacíos

Cilindro	Peso (kg) cilindro vacío
1 '1	5.35
1 '2	5.30
2 '1	5.30
2 '2	5.30
3 '1	5.35
3 '2	5.25

2. Preparación de la unidad de medida:

[0035] Al momento de la experimentación, se usó material mixto que contiene agregados finos y gruesos (arena y grava), por lo tanto, se ajustó la formulación para usar en la siguiente proporción

Presión	Cemento	Mixto (arena y grava)
3000 psi	1	2 ½
Relación agua/cemento	0.52	

1 unidad de medida de cemento = 2800 gramos

2 ½ unidades de medida de mixto: 8400 gramos

Relación agua/cemento (0.52) = 1456 gramos de agua

3. Preparación de la mezcla

[0036] En un recipiente metálico de forma cóncava se dispuso para hacer la mezcla de concreto, adicionando en el siguiente orden

- a) Se mezclan muy bien los ingredientes secos: (cemento, mixto y polímero) asegurándose que quede de manera uniforme

Mezcla		Cemento	Mixto	PU EVA	Agua
1	Tradicional	2800 gramos	8700 gramos	0 gramos	1456 gramos
2	Reemplazando el 25% (1/4) de la unidad de medida del mixto	2800 gramos	6500 gramos	200 gramos	1456 gramos
3	Reemplazando el 50% (1/2) de la unidad de medida del mixto	2800 gramos	4400 gramos	400 gramos	1456 gramos

Nota: La unidad de medida corresponde a un recipiente estándar en el que se miden todos los materiales de la mezcla.

- b) Se adiciona el agua (la mitad) sobre la mezcla seca, controlando la cantidad que se va a agregar para no perder la consistencia mientras se humedece la mezcla.
- c) Mezclar todo hasta que quede espeso y húmedo (pero ya no empapado)
- d) Se vierte la mezcla en el cilindro (dos cilindros con la misma mezcla). El vertido de la mezcla en el cilindro se realiza en tres capas de igual volumen. Entre cada capa se realiza 21 apisonamientos perimetrales haciendo uso de una espátula metálica.
- e) Luego golpear los bordes externos del cilindro en 5 puntos diferentes
- f) Enrasar la superficie del molde cilíndrico
- g) Limpiar las herramientas

4. Pesaje de los cilindros con mezcla húmeda

Cilindro	Peso (kg) cilindro vacío	Peso (kg) cilindro con mezcla	Peso (kg) de la mezcla húmeda
1 '1	5.35	8.95	3.6
1 '2	5.30	9.00	3.7
2 '1	5.30	8.70	3.4
2 '2	5.30	8.65	3.35
3 '1	5.35	8.40	3.05
3 '2	5.25	8.35	3.1

Análisis y discusión del trabajo de campo

[0037] El poliuretano y la EVA son materiales derivados del plástico convencional, que es producido a partir de petróleo crudo. El PU Reacciona en presencia de un poliol y un isocianato y por medio de un catalizador se logran distintas densidades. Se caracteriza por ser un material liviano y por sus propiedades aislantes térmicas, acústicas. Es un material muy versátil y ampliamente usado en diferentes industrias, que puede llegar a ser tan rígido como una fibra de vidrio, sin perder su característica de bajo peso, o tan amortiguante como una plantilla para calzado. En cuanto a la EVA etileno vinil acetato, es un material plástico liviano y muy poroso que se obtiene a partir de procesos de inyección, que brinda gran confort y comodidad al ser 100% manejable y moldeable.

[0038] En el desarrollo de las pruebas de mezclas de concreto se observó que a medida que se incorporaba los polímeros, la mezcla era más liviana para manejar, el material polímero tenía buena adherencia a la mezcla, es decir, no se decantó, sino por el contrario tenía un efecto aglutinante ya que la mezcla era más compacta y se percibía con una textura más plástica. Igualmente se observó que el

agua se absorbía más en comparación con la mezcla tradicional, por lo que requería mayor tiempo de fraguado.

[0039] El pesaje de las mezclas permite evidenciar que sí hay una reducción del peso cerca del 20% en comparación con la mezcla tradicional.

5. Tiempo de fraguado: 24 horas.

[0040] Pasadas las 24 horas, se hizo entrega de las muestras al laboratorio para los respectivos ensayos

6. Tiempo de curado: se requiere un curado de al menos 7 días por método de inmersión o membrana de curado

Ensayos en laboratorio:

[0041] Se llevaron a cabo ensayos de caracterización de las propiedades de las mezclas de concreto fabricadas. Estos ensayos se realizaron con el objeto de determinar el efecto de las adiciones de material poliuretano y EVA sobre las propiedades del concreto, es decir, modificación de su resistencia mecánica y propiedades físicas. Los ensayos realizados fueron: resistencia a la compresión (kgf/cm²) y densidad (kg/m³) bajo la norma NTC 673:2010. Los ensayos de los especímenes se determinaron a la edad de 7 y 28 días a cargo de un laboratorio de concretos que utilizó la máquina de ensayo a compresión PS-50.

Resultados y discusión

[0042] A partir de los resultados de los ensayos de laboratorio, se examinan las tendencias correspondientes y se formuló la relación de predicción del comportamiento del concreto como función de la dosificación de poliuretano. Para lograr un mejor entendimiento sobre la influencia del poliuretano en el desempeño

de las mezclas de concreto, los resultados se comparan con modelos e investigaciones similares

Resistencia a la compresión y densidad

[0043] A continuación, se relaciona los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión y densidad, sobre los especímenes para cada mezcla de concreto, a la edad de 7 y 28 días.

Mezcla con PU flexible y EVA

Especimen	Masa del cilindro kg		Resistencia a la compresión kgf/cm ²		Densidad Kg/m ³	
	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días
1	3.630	3.620	140	239	2232.0	2165.2
2	3.37	3.374	99	137	2089.4	2028.3
3	3.094	3.120	68	110	1920.0	1870

[0044] En cuanto al peso del espécimen, a medida que se incrementa la incorporación de Poliuretano PU + EVA se logra la disminución del peso. Por otra parte, la resistencia a la compresión y la densidad disminuye en comparación con el material tradicional. Al incremento del tamaño de poros de las mezclas de concreto por el incremento del contenido de aire se atribuyen las reducciones de resistencia a la compresión por la inclusión de un mayor contenido de PU + EVA.

[0045] A medida que el Poliuretano sea más rígido, brinda mayor resistencia tal como se evidencia en la siguiente tabla de resultados, de una segunda prueba realizada con un poliuretano postindustria con características de mayor rigidez desde su formulación original.

Mezcla con PU Rígido + EVA

Especimen	Masa del cilindro kg		Resistencia a la compresión kgf/cm ²		Densidad Kg/m ³	
	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días
1	3.568	3.592	137	287	2143.4	2228.1

2	3.214	3.228	120	160	1937.9	2002.8
3	2.852	2.884	110	153	1740.0	1790.0

[0046] Lo anterior nos permite concluir que la mezcla que incorpora PU rígido se desempeña mejor en cuanto a resistencia, en comparación con la mezcla de PU flexible.

[0047] Acorde los resultados, se concluye que la adición del polímero a la mezcla de concreto brinda la característica del concreto liviano por alcanzar pesos volumétricos menor a 1900 kg/m³ y la característica de concreto de resistencia moderada por cuanto la compresión varía entre 6.9 Mpa (70.36 kgf/cm²) y 17.3 Mpa (176.41 kgf/cm²) con densidades entre 800 a 1440 kg/m³.

[0048] Si bien hasta ahora se ha descrito la invención en relación con una de sus modalidades preferidas, los ejemplos que acompañan la presente descripción no son de carácter limitante. El técnico con habilidad en la materia podrá apreciar que es posible variar o modificar las características de la invención sin alejarse del espíritu de la misma.