MÉTODOS Y COMPOSICIONES PARA PRODUCCIÓN DE CONCRETO

Remisión

[0001] Esta solicitud reivindica prioridad a la Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. de Serie 14/701,456, presentada el 30 de abril, 2015, Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos No. de Serie 62/083,784, presentada el 24 de noviembre, 2014, Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos No. de Serie 62/096,018, presentada el 23 de diciembre, 2014, Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos No. de Serie 62/160,350, presentada el 12 de mayo, 2015, Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos No. de Serie 62/165,670 presentada el 22 de mayo, 2015, Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos No. de Serie 62/240,843, presentada el 13 de octubre, 2015, Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos No. de Serie 62/086,024, presentada el 1 de diciembre, 2014, y Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos No. de Serie 62/146,103 presentada el 10 de abril, 2015, todas las cuales se incorporan en la presente como referencia en sus totalidades.

Antecedentes de la Invención

[0002] Las mezclas de cemento, tal como mezclas de concreto, se utilizan en varias composiciones y procedimientos a lo largo del mundo. Además, los gases invernadero tal como dióxido de carbono son una preocupación creciente en todo el mundo. Existe una necesidad de métodos y composiciones para poner en contacto mezclas de cemento con dióxido de carbono y para mezclas de cemento que contienen dióxido de carbono incorporado y productos de carbonatación.

Breve Descripción de la Invención

[0003] En un aspecto, la invención proporciona métodos.

[0004] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para carbonatar una mezcla de concreto que comprende

un tipo de cemento que incluye administrar dosis de CO2 a la mezcla de concreto en tanto que se mezcla en una mezcladora, donde la administración del dióxido de carbono comienza dentro de un período de 3 minutos del comienzo de la mezcla de la mezcla de concreto, y en donde la duración de la administración del dióxido de carbono es de 10 segundos a 4 minutos. En ciertas modalidades, la dosis de dióxido de carbono es 0.01-1.0% en peso de cemento (bwc, por sus siglas en inglés). En ciertas modalidades, la administración de dióxido de carbono comienza dentro de un período de 1 minuto del inicio de la mezcla de la mezcla de concreto. La mezcladora puede ser cualquier mezcladora adecuada, tal como una mezcladora estacionaria o una mezcladora transportable; en algunas modalidades, la mezcladora comprende una mezcladora transportable, por ejemplo un tambor de un camión de mezcla final. En ciertas modalidades, la dosis de dióxido de carbono se basa en pruebas anteriores de una pluralidad de dosis de dióxido de carbono en una pluralidad de mezclas de prueba, en donde las mezclas de prueba comprenden el tipo de cemento en la mezcla de concreto, por ejemplo, al menos tres dosis de prueba de dióxido de carbono se pueden utilizar en las pruebas anteriores. En ciertas modalidades, la pluralidad de dosis de dióxido de carbono utilizadas en las pruebas anteriores todas son 0.01-1.0% bwc, y la dosis de dióxido de carbono administrada a la mezcla de concreto es 0.01-1.0% bwc. El dióxido de carbono se puede administrar por un conducto a la superficie de la mezcla de concreto, por ejemplo, un conducto colocado para que esté 5-200 cm de la superficie de la mezcla de concreto, en promedio. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se administra como una mezcla de dióxido de carbono sólido y gaseoso.

[0005] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para carbonatar una mezcla de concreto en un tambor de

un camión de mezcla final que comprende (i) colocar un primer conducto para administración de componentes de la mezcla de concreto al tambor, en donde el primer conducto contiene un segundo conducto para administración de dióxido de carbono a la mezcla de concreto, y en donde los componentes de la mezcla de concreto comprenden al menos cemento y agua; (ii) administrar los componentes de la mezcla de concreto al tambor por el primer conducto para proporcionar una mezcla de concreto en el tambor; (iii) mezclar la mezcla de concreto; y (iv) administrar una dosis de dióxido de carbono a la mezcla de concreto por una abertura del segundo conducto. En ciertas modalidades, la dosis de dióxido de carbono es 0.01-1.5% en peso de cemento. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono es una mezcla de dióxido de carbono sólido y gaseoso. En ciertas modalidades, la dosis de dióxido de carbono se basa en pruebas anteriores de una pluralidad de dosis de dióxido de carbono en una pluralidad de mezclas de prueba, en donde las mezclas de prueba comprenden el tipo de cemento en la mezcla de concreto. En ciertas modalidades, al menos tres dosis de prueba de dióxido de carbono se utilizan en las pruebas anteriores. En ciertas modalidades, la pluralidad de dosis de dióxido de carbono utilizadas en las pruebas anteriores todas son 0.01-1.0% bwc, y la dosis de dióxido de carbono administrada a la mezcla de concreto es 0.01-1.0% bwc. En ciertas modalidades, la abertura del segundo conducto se coloca para que esté 5 cm a 200 cm, en promedio, de una superficie de la mezcla de concreto.

[0006] En otro aspecto, la invención proporciona un aparato. En ciertas modalidades, la invención proporciona un aparato para administrar dióxido de carbono a un tambor de un camión de mezcla final que comprende (i) un primer conducto configurado para administración de componentes de concreto al tambor del camión de mezcla final; y (ii) un segundo conducto

contenido dentro de o unido al primer conducto configurado para administración de dióxido de carbono al tambor del camión de mezcla final. En ciertas modalidades el segundo conducto se hace de material que es suficientemente flexible para moverse con el primer conducto. En ciertas modalidades, el segundo conducto contiene un tercer conducto, en donde el tercer conducto se configura para extenderse del segundo conducto cuando el primer conducto se coloca para administrar los componentes del concreto al tambor, y para contraerse cuando el primer conducto se mueve del tambor del camión de mezcla final.

Incorporación como Referencia

[0007] Todas las publicaciones, patentes, y solicitudes de patente mencionadas en esta especificación se incorporan en la presente como referencia en la misma medida como si cada publicación, patente, o solicitud de patente individual se indicara específica e individualmente que se incorpora como referencia.

Breve Descripción de las Figuras

[0008] Las características novedosas de la invención se exponen con particularidad en las reivindicaciones anexas. Se obtendrá un mejor entendimiento de las características y ventajas de la presente invención como referencia a la siguiente descripción detallada que expone modalidades ilustrativas, en las cuales se utilizan los principios de la invención, y las Figuras anexas de las cuales:

[0009] La Figura 1 proporciona una vista esquemática de una mezcladora estacionaria con aparato para proporcionar dióxido de carbono a una mezcladora hidráulica de cemento durante la mezcla.

[00010] La Figura 2 proporciona una vista esquemática de una mezcladora móvil (camión de mezcla final) provista con un sistema de administración de dióxido de carbono desmontable

para administrar dióxido de carbono a la mezcla de concreto.

[00011] La Figura 3 proporciona una vista esquemática de una mezcladora móvil (camión de mezcla final) provista con un sistema de administración de dióxido de carbono unido para administrar dióxido de carbono a la mezcla de concreto.

[00012] La Figura 4 muestra resistencias a la compresión de 7 días de concreto preparado de mezclas húmedas expuestas a dióxido de carbono a diferentes dosis.

[00013] La Figura 5 muestra resistencias a la compresión de 7 días de concreto preparado de mezclas húmedas expuestas a dióxido de carbono a diferentes dosis y con diferentes contenidos de agua.

[00014] La Figura 6 muestra resistencias a la compresión de 7 días de concreto preparado de mezclas húmedas expuestas a dióxido de carbono a diferentes dosis.

[00015] La Figura 7 muestra resistencias a la comprensión de 14 días de concreto preparado de mezclas húmedas expuestas a dióxido de carbono a diferentes dosis.

[00016] La Figura 8 muestra resistencias a la compresión de 28 días de concreto preparado de mezclas húmedas expuestas a dióxido de carbono a diferentes dosis.

[00017] La Figura 9 muestra resistencias a la compresión de 7, 14, y 28 días de concreto preparado de mezclas húmedas expuestas a dióxido de carbono con dos contenidos de agua diferentes.

[00018] La Figura 10 muestra resistencias a la compresión de 7 y 28 días de concreto preparado de mezclas húmedas expuestas a dióxido de carbono a dos diferentes dosis y dos diferentes contenidos de agua.

[00019] La Figura 11 muestra resistencias a la compresión de 7 días de concreto preparado de mezclas húmedas expuestas a dióxido de carbono a dos dosis diferentes y mayor contenido de agua.

[00020] La Figura 12 muestra resistencias a la compresión de 7 días de concreto preparado de mezclas húmedas expuestas a dióxido de carbono a dos diferentes dosis y mayor contenido de agua.

[00021] La Figura 13 muestra resistencias a la compresión de 7 días de concreto preparado de mezclas húmedas expuestas a dióxido de carbono a dos dosis diferentes y mayor contenido de agua.

[00022] La Figura 14 muestra asentamiento de mezclas húmedas de concreto expuestas a dióxido de carbono a dos diferentes dosis y 5 contenidos de agua diferentes.

[00023] La Figura 15 proporciona una ilustración gráfica del asentamiento en diferentes momentos después de la llegada del camión para lotes de concreto carbonatado preparados en una operación de mezcla final.

[00024] La Figura 16 proporciona una ilustración gráfica de desarrollo de resistencia a la compresión en concreto carbonatado preparado en una operación de mezcla final, en comparación con concreto no carbonatado, de control, a 3, 27, 28 y 56 días.

[00025] La Figura 17A proporciona una ilustración gráfica de pruebas rápidas de penetración de cloruro.

[00026] La Figura 17B proporciona una ilustración gráfica de pruebas de resistencia a la flexión en concreto carbonatado preparado en una operación de mezcla final en comparación con concreto no carbonatado, de control.

[00027] La Figura 18 proporciona una ilustración gráfica de resistencias a la compresión en 1, 7, 28 y 56 días para concretos preparados en una operación de mezcla final con dióxido de carbono de 0, 0.5, o 1.0% bwc administrado al concreto.

[00028] La Figura 19 proporciona una ilustración gráfica de resistencias a la compresión en 1, 7, 28, y 56 días para

concretos preparados en una operación de mezcla final con dióxido de carbono de 0, 1.0, o 1.5% bwc administrado al concreto, y aditivo de gluconato de sodio al 0.05% añadida a 1.5% de lote.

[00029] La Figura 20 proporciona una ilustración gráfica de masa de cilindro para cilindros de volumen constante (densidad), un indicador para resistencia a la compresión, en concreto colado en seco preparado como no carbonatado o carbonatado durante 1 o 2 minutos, con la adición de aditivo de gluconato de sodio a diferentes concentraciones.

[00030] La Figura 21 proporciona una ilustración gráfica de masa de cilindro para cilindros de volumen constante (densidad), un indicador para resistencia a la compresión, en concreto colado en seco preparado como no carbonatado o carbonatado durante 90 segundos a 50 LPM con adición de aditivo de gluconato de sodio a 0.24, 0.30, 0.36 o 0.42% bwc.

[00031] La Figura 22 proporciona una ilustración gráfica de masa de cilindro para cilindros de volumen constante (densidad), un indicador para resistencia a la compresión, en concreto colado en seco preparado como no carbonatado o carbonatado durante 90 segundos a 50 LPM con la adición de aditivo de gluconato de sodio a 0.30 o 0.42% bwc.

[00032] La Figura 23 proporciona una ilustración gráfica de masa de cilindro para cilindros de volumen constante (densidad), un indicador para resistencia a la compresión, en concreto colado en seco preparado como no carbonatado o carbonatado durante 90 segundos a 50 LPM con la adición de aditivo de gluconato de sodio a 0.30 0.42 % bwc. Todas las muestras incluyeron aditivos Rainbloc y Procast, con una muestra de 0.30% que tiene Procast añadida después de la administración de dióxido de carbono.

[00033] La Figura 24 proporciona una ilustración gráfica de asentamiento, con respecto al control no tratado, en mezclas

de mortero carbonatadas tratadas con glucoheptonato de sodio, fructosa, o gluconato de sodio a diferentes concentraciones.

[00034] La Figura 25 proporciona una ilustración gráfica de efectos en el asentamiento de fructosa o gluconato de sodio añadido a una mezcla de mortero antes, durante, o después de la carbonatación.

[00035] La Figura 26 proporciona una ilustración gráfica de efectos en la resistencia a la compresión de 24 horas, en comparación con el control no carbonatado, de una preparación de mortero carbonatado en la cual se añadió gluconato de sodio ya sea antes o después de la carbonatación a dosis de 0, 0.025, 0.05, y 0.75%.

[00036] La Figura 27 proporciona una ilustración gráfica de los efectos de temperatura de materiales en la tasa de absorción de dióxido de carbono en una mezcla de mortero. Las temperaturas fueron 7°C, 15°C y 25°C.

[00037] La Figura 28 proporciona una ilustración gráfica de los efectos de gases calentados o fríos, o hielo seco, en absorción de dióxido de carbono en un sistema de pasta de cemento.

[00038] La Figura 29 proporciona una ilustración gráfica de los efectos de plastificantes e hidróxido de calcio en resistencia a la compresión de 24 horas en mezclas de mortero carbonatadas y no carbonatadas.

[00039] La Figura 30 proporciona una ilustración gráfica de los efectos de CaO, NaOH, $Ca(NO_2)_2$, y $CaCl_2$ en resistencia a la compresión de 24 horas en mezcla de mortero carbonatada y no carbonatada.

[00040] La Figura 31 proporciona una ilustración gráfica del efecto de adición de dióxido de carbono antes y después de la adición de un agente inclusor de aire en densidad de mortero.

[00041] La Figura 32 proporciona una tabla que muestra los

resultados de pruebas para absorción de dióxido de carbono, resistencia a la compresión, absorción de agua, y densidad para bloques producidos en una operación de colado en seco precolado con carbonatación en la mezcladora, caja de alimentación o ambas, en una mezcla de bloque estándar.

[00042] La Figura 33 es una ilustración gráfica de los efectos de la dosis de gluconato de sodio en resistencias a la compresión de 7, 28 y 56 días de bloques carbonatados producidos en una operación de colado en seco, con diferentes dosis de gluconato de sodio, en comparación con el control no carbonatado.

[00043] La Figura 34 proporciona una tabla que muestra los resultados de pruebas para absorción de dióxido de carbono, resistencia a la compresión, absorción de agua, y densidad para bloques producidos en una operación de colado en seco precolado con carbonatación en la mezcladora en una mezcla de bloque de caliza.

[00044] La Figura 35 proporciona una tabla que muestra los resultados de pruebas para absorción de dióxido de carbono, resistencia a la compresión, absorción de agua, y densidad para bloques producidos en una operación de colado en seco precolado con carbonatación en la mezcladora en una mezcla de bloque de peso ligero.

[00045] La Figura 36 proporciona una ilustración gráfica de resistencias a la compresión de 7, 28 y 56 días de bloques de peso ligero producidos en una operación de colado en seco con carbonatación y diferentes dosis de gluconato de sodio.

[00046] La Figura 37 proporciona una tabla que muestra los resultados de prueba para absorción de dióxido de carbono, resistencia a la compresión, absorción de agua, y densidad para bloques producidos en una operación de colado en seco precolado con carbonatación en la mezcladora en una mezcla de bloque de arenisca.

[00047] La Figura 38 proporciona una ilustración gráfica de resistencias a la compresión de 7, 28 y 56 días de bloques de arenisca producidos en una operación de colado en seco con carbonatación y diferentes dosis de gluconato de sodio.

[00048] La Figura 39 proporciona una ilustración gráfica de la relación entre dosis óptima de gluconato de sodio y contenido de cemento en bloques colados en seco carbonatados.

[00049] La Figura 40 proporciona una ilustración gráfica de resistencia a la compresión y densidad de bloques de peso medio precolados carbonatados y no carbonatados, con y sin tratamiento con gluconato de sodio al 0.25%.

[00050] La Figura 41 proporciona una tabla de resultados de prueba de terceros de bloques de peso medio producidos en una operación de precolado como carbonatados, no carbonatados, y carbonatados + gluconato de sodio al 0.25%, como resistencia, absorción, y encogimiento.

[00051] La Figura 42 proporciona una ilustración gráfica del efecto de tipo de cemento en la absorción de dióxido de carbono en una mezcla de mortero.

[00052] La Figura 43 proporciona una ilustración gráfica de los efectos de temperatura de materiales en asentamiento, con respecto al control, en mezclas de mortero carbonatadas. Las temperaturas fueron 7°C, 15°C y 25°C.

[00053] La Figura 44 proporciona una ilustración gráfica del efecto de relación de agua/cemento (w/c) en absorción de dióxido de carbono en una mezcla de mortero.

[00054] La Figura 45 proporciona ilustración gráfica del efecto de relación w/c en absorción de dióxido de carbono en una mezcla de mortero.

[00055] La Figura 46 proporciona ilustración gráfica del efecto de relación w/c en absorción de dióxido de carbono en una mezcla de concreto.

[00056] La Figura 47 proporciona una ilustración gráfica de

la relación entre absorción de dióxido de carbono y elevación de temperatura en una mezcla de mortero a diferentes w/c.

[00057] La Figura 48 proporciona una ilustración gráfica de la relación entre absorción de dióxido de carbono y elevación de temperatura en mezclas de mortero preparadas de cementos de Holcim GU, Lafarge Quebec, y Lehigh, a w/c de 0.5.

[00058] La Figura 49 proporciona una ilustración gráfica de los efectos de gluconato de sodio a 0, 0.1%, o 0.2%, añadido después de la carbonatación a una mezcla de concreto en asentamiento a 1, 10, y 20 minutos.

[00059] La Figura 50 proporciona una ilustración gráfica de los efectos de fructuosa en asentamiento inicial de mezcla de concreto carbonatada.

[00060] La Figura 51 proporciona una ilustración gráfica de los efectos de fructosa en resistencia a la compresión de 24 horas y 7 días en una mezcla de concreto carbonatada.

[00061] La Figura 52 proporciona una ilustración gráfica de la relación entre resistencia a la compresión de área superficial en 24 horas de morteros carbonatados producidos con diferentes cementos.

[00062] La Figura 53 proporciona una ilustración gráfica de dosis de dióxido de carbono (línea superior), absorción de dióxido de carbono (segunda línea de la parte superior), y dióxido de carbono detectado en dos sensores (las dos líneas de la parte inferior) en una operación de mezcla precolada donde se ajustó el flujo de dióxido de carbono de acuerdo con el dióxido de carbono detectado por los sensores.

[00063] La Figura 54 muestras curvas de calorimetría isotérmica en mortero preparado con cemento Holcim GU carbonatado a bajos niveles de carbonatación.

[00064] La Figura 55 muestra evolución de calor total en diferentes puntos del tiempo en mortero preparado con cemento Holcim GU carbonatado a bajos niveles de carbonatación.

[00065] La Figura 56 muestra la fijación, como representada por lecturas de penetrómetro, en mortero preparado con cemento Holcim GU carbonatado a un bajo nivel de carbonatación.

[00066] La Figura 57 muestra curvas de calorimetría isotérmica en mortero preparado con cemento Lafarge Brookfield GU carbonatado a bajos niveles de carbonatación.

[00067] La Figura 58 muestra resistencias a la compresión de 8 horas y 24 horas en mortero preparado con cemento Lafarge Brookfield GU carbonatado a bajos niveles de carbonatación.

[00068] La Figura 59 muestra curvas de calorimetría isotérmica en concreto preparado con cemento Lafarge Brookfield GU carbonatado a bajos niveles de carbonatación.

[00069] La Figura 60 muestra curvas de energía calorimétrica en concreto preparado con cemento Lafarge Brookfield GU carbonatado a bajos niveles de carbonatación.

[00070] La Figura 61 muestra resistencias a la compresión de 8 horas y 12 horas en concreto preparado con cemento Lafarge Brookfield GU carbonatado a bajos niveles de carbonatación.

[00071] La Figura 62 muestra fijación, como representada por lecturas de penetrómetro, en mortero preparado con cemento Lafarge Brookfield GU carbonatado a un bajo nivel de carbonatación.

[00072] La Figura 63 muestra resistencias a la compresión de 8 horas y 12 horas en concreto preparado con cemento St. Mary’s Brownsville GU de carbonatado a bajos niveles de carbonatación.

[00073] La Figura 64 muestra resistencias a la compresión de 12 horas de concreto carbonatado a diferentes dosis bajas de carbonatación.

[00074] La Figura 65 muestra resistencias a la compresión

de 16 horas de concreto carbonatado a diferentes dosis bajas de carbonatación.

[00075] La Figura 66 muestra resistencias a la compresión de 24 horas de concreto carbonatado a diferentes dosis bajas de carbonatación.

[00076] La Figura 67 muestra resistencias a la compresión de 7 días de concreto carbonatado a diferentes dosis bajas de carbonatación.

[00077] La Figura 68 muestra absorción de dióxido de carbono de concreto de mezcla seca a diferentes dosis de gluconato de sodio.

[00078] La Figura 69 muestra masa de cilindro compactada (un indicador para densidad) relacionada con dosis de gluconato de sodio en concreto de mezcla seca carbonatado y no carbonatado.

[00079] La Figura 70 muestra los datos de la Figura 69 normalizados para control.

[00080] La Figura 71 muestra energía de 6 horas liberada con respecto a la dosis de gluconato de sodio en concreto de mezcla seca carbonatado y no carbonatado.

[00081] La Figura 72 muestra los datos de la Figura 71 normalizados para control.

[00082] La Figura 73 muestra tasas de absorción de CO_2 en morteros preparados con CaO, NaOH, o $CaC1_2$, añadidos, o sin aditivo.

[00083] La Figura 74 muestra un resumen de los datos de calorimetría para morteros preparados con y sin CaO añadido y expuestos a dióxido de carbono durante diferentes duraciones de tiempo en tanto que se mezclan, así como absorción de dióxido de carbono.

[00084] La Figura 75 muestra comparación relativa de energía liberada por mezclas de mortero sin CaO añadido sujetas a carbonatación, incorporación con el control no

carbonatado.

[00085] La Figura 76 muestra una comparación relativa de energía liberada por mezclas de mortero dopadas con CaO expuestas a dióxido de carbono durante diferentes tiempos, en comparación con mezclas de mortero sin CaO añadido expuestas a dióxido de carbono durante los mismos períodos de tiempo.

[00086] La Figura 77A muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-1, -2 y -3 del ejemplo 28, y control no carbonatado, potencia versus tiempo.

[00087] La Figura 77B muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-1, -2 y 3 del ejemplo 28, y control no carbonatado, energía versus tiempo.

[00088] La Figura 78A muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-4, -5, y -6 del ejemplo 28 y control no carbonatado, potencia versus tiempo.

[00089] La Figura 78B muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-4, 5, del ejemplo 28 y control no carbonatado.

[00090] La Figura 79A muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-1, -2, y -3 del ejemplo 29 y control no carbonatado, potencia versus tiempo.

[00091] La Figura 79B muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-1, -2, y -3 del ejemplo 29, y control no carbonatado.

[00092] La Figura 80A muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-5 del ejemplo 29, y control no carbonatado, potencia versus tiempo.

[00093] La Figura 80B muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-5, y -6 del ejemplo 29, y control no carbonatado.

[00094] La Figura 81 muestra resistencias a la compresión en 24 horas para control y tres diferentes dosis de dióxido de carbono del primer día del ensayo del ejemplo 30.

[00095] La Figura 82 muestra resistencias a la compresión en 3 días para control y tres diferentes dosis de dióxido de carbono del primer día del ensayo del ejemplo 30.

[00096] La Figura 83 muestra resistencias a la compresión en 7 días para control y tres diferentes dosis de dióxido de carbono del primer día del ensayo del ejemplo 30.

[00097] La Figura 84 muestra resistencias a la compresión en 28 días para control y tres diferentes dosis de dióxido de carbono del primer día del ensayo del ejemplo 30.

[00098] La Figura 85 muestra resistencias a la compresión en 56 días para control y tres diferentes dosis de dióxido de carbono del primer día del ensayo del ejemplo 30.

[00099] La Figura 86A muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-1 (1402), -2 (1403), y -3 (1404) del primer día del ensayo del ejemplo 30, y control no carbonatado (1401), potencia versus tiempo.

[000100] La Figura 86B muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-1 (1402), -2 (1403), y -3 (1404) del primer día del ensayo del ejemplo 30, y control no carbonatado (1401), energía versus tiempo.

[000101] La Figura 87 muestra resistencias a la compresión en 24 horas para control y una dosis de dióxido de carbono del segundo día del ensayo del ejemplo 30.

[000102] La Figura 88 muestra resistencias a la compresión en 3 días para control y una dosis de dióxido de carbono del segundo día del ensayo del ejemplo 30.

[000103] La Figura 89 muestra resistencias a la compresión en 7 días para control y una dosis de dióxido de carbono del segundo día del ensayo del ejemplo 30.

[000104] La Figura 90 muestra resistencias a la compresión en 28 días para control y una dosis de dióxido de carbono del segundo día del ensayo del ejemplo 30.

[000105] La Figura 91 muestra resistencias a la compresión

en 56 días para control y una dosis de dióxido de carbono del segundo día del ensayo del ejemplo 30.

[000106] La Figura 92A muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-1 y -2 del segundo día del ensayo del ejemplo 30, y controles no carbonatados 1 y 2, potencia versus tiempo.

[000107] La Figura 92B muestra datos de calorimetría para las mezclas CO2-1 y -2 del segundo día del ensayo del ejemplo 30, y controles no carbonatados 1 y 2, energía versus tiempo.

[000108] La Figura 93A muestra datos de calorimetría para las tres dosis de dióxido de carbono del ejemplo 31, y control no carbonatado, potencia versus tiempo.

[000109] La Figura 93B muestra datos de calorimetría para las tres dosis de dióxido de carbono del ejemplo 31, y control no carbonatado, energía versus tiempo.

[000110] La Figura 94A muestra datos de calorimetría para las dos dosis de dióxido de carbono del ejemplo 32, y control no carbonatado, potencia versus tiempo.

[000111] La Figura 94B muestra datos de calorimetría para las dos dosis de dióxido de carbono del ejemplo 32, y control no carbonatado, energía versus tiempo.

[000112] La Figura 95 muestra curvas de calorimetría para 5 morteros con niveles variables de absorción de CO_2 (1 muestra antes de carbonatación seguida por 5 rondas de carbonatación, cada una durante 2 minutos a 0.15 LPM) del ejemplo 33.

[000113] La Figura 96 muestra energía total liberada en 4 horas después de la mezcla para los cuatro niveles diferentes de carbonatación del ejemplo 33, en comparación con el control no carbonatado.

[000114] La Figura 97 muestra energía total liberada en 8 horas después de la mezcla para los cuatro niveles diferentes de carbonatación del ejemplo 33, en comparación con el control no carbonatado.

[000115] La Figura 98 muestra energía total liberada en 12 horas después de la mezcla para los cuatro niveles diferentes de carbonatación del ejemplo 33, en comparación con el control no carbonatado.

[000116] La Figura 99 muestra energía total liberada en 16 horas después de la mezcla para los cuatro niveles diferentes de carbonatación del ejemplo 33, en comparación con el control no carbonatado.

[000117] La Figura 100 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con agua de mezcla carbonatada versus agua de mezcla no carbonatada, como se describe en el ejemplo 34.

[000118] La Figura 101 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero preparada con agua de mezcla carbonatada versus agua de mezcla no carbonatada, como se describe en el ejemplo 34.

[000119] La Figura 102 muestra resultados para una mezcla de cemento Argos + Venture FA bajo tres diferentes condiciones de carbonatación, en tres momentos diferentes, como calor total liberado con respecto a una mezcla no carbonatada de control, como se describe en el ejemplo 35.

[000120] La Figura 103 muestra resultados para una mezcla de cemento Cemex + Venture FA bajo tres diferentes condiciones de carbonatación, en tres momentos diferentes, como calor total liberado con respecto a una mezcla no carbonatada de control, como se describe en el ejemplo 35.

[000121] La Figura 104 muestra resultados para una mezcla de cemento Holcim + Venture FA bajo tres diferentes condiciones de carbonatación, en tres momentos diferentes, como calor total liberado con respecto a una mezcla no carbonatada de control, como se describe en el ejemplo 35.

[000122] La Figura 105 muestra resultados para una mezcla de cemento Titan Roanoake + Venture FA bajo tres diferentes

condiciones de carbonatación, en tres momentos diferentes, como calor total liberado con respecto a una mezcla no carbonatada de control como se describe en el ejemplo 35.

[000123] La Figura 106 muestra resultados para una mezcla de cemento Argos + SEFA FA bajo tres diferentes condiciones de carbonatación, en tres momentos diferentes, como calor total liberado con respecto a una mezcla no carbonatada de control, como se describe en el ejemplo 35.

[000124] La Figura 107 muestra resultados para una mezcla de cemento Cemex + SEFA FA bajo tres diferentes condiciones de carbonatación, en tres momentos diferentes, como calor total liberado con respecto a una mezcla no carbonatada de control, como se describe en el ejemplo 35.

[000125] La Figura 108 muestra resultados para una mezcla de cemento Holcim + SEFA FA bajo tres diferentes condiciones de carbonatación, en tres momentos diferentes, como calor total liberado con respecto a una mezcla no carbonatada de control, como se describe en el ejemplo 35.

[000126] La Figura 109 muestra resultados para una mezcla de cemento Titan Roanoake + SEFA FA bajo tres diferentes condiciones de carbonatación, en tres momentos diferentes, como calor total liberado con respecto a una mezcla no carbonatada de control, como se describe en el ejemplo 35.

[000127] La Figura 110 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con una mezcla 80/20 de cemento Roanoake – ceniza volante Trenton de Clase F, carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, como se describe en el ejemplo 36.

[000128] La Figura 111 muestra calorimetría como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con una mezcla 80/20 de cemento STMB–ceniza volante Trenton de Clase F, carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, como se describe en el ejemplo 36.

[000129] La Figura 112 muestra calorimetría como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con una mezcla 80/20 de cemento STMB– ceniza volante Trenton de Clase F, carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, como se describe en el ejemplo 36.

[000130] La Figura 113 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con una mezcla 80/20 de cemento STMB - ceniza volante Trenton de Clase F, carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, como se describe en el ejemplo 36.

[000131] La Figura 114 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento STMB y tres dosis diferentes de bicarbonato de sodio, como se describe en el ejemplo 37.

[000132] La Figura 115 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento STMB y tres diferentes dosis de bicarbonato de sodio, como se describe en el ejemplo 37.

[000133] La Figura 116 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento LAFB y tres dosis diferentes de bicarbonato de sodio, como se describe en el ejemplo 37.

[000134] La Figura 117 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento LAFB y tres dosis diferentes de bicarbonato de sodio, como se describe en el ejemplo 37.

[000135] La Figura 118 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento STMB y dos diferentes tiempos para adición de agua de mezcla carbonatada, como se describe en el ejemplo 38.

[000136] La Figura 119 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento STMB y dos diferentes tiempos para adición de

agua de mezcla carbonatada, como se describe en el ejemplo 38.

[000137] La Figura 120 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento LAFB y dos diferentes tiempos para adición de agua de mezcla carbonatada, como se describe en el ejemplo 38.

[000138] La Figura 121 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento LAFB y dos diferentes tiempos para adición de agua de mezcla carbonatada, como se describe en el ejemplo 38.

[000139] La Figura 122 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento LAFB y cinco diferentes duraciones para adición de agua de mezcla carbonatada, como se describe en el ejemplo 38.

[000140] La Figura 123 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento LAFB y cinco diferentes duraciones para adición de agua de mezcla carbonatada, como se describe en el ejemplo 38.

[000141] La Figura 124 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento STMB y un agua de lavado sintética, carbonatada, filtrada o no filtrada, como se describe en el ejemplo 39.

[000142] La Figura 125 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento STMB y un agua de lavado sintética, carbonatada, filtrada o no filtrada, como se describe en el ejemplo 39.

[000143] La Figura 126 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento LAFB y carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, de 5 a

10°C, como se describe en el ejemplo 40.

[000144] La Figura 127 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento LAFB y carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, de 5 a 10°C, como se describe en el ejemplo 40.

[000145] La Figura 128 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento LAFB y carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, de 10 a 15°C, como se describe en el ejemplo 40.

[000146] La Figura 129 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento LAFB y carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, de 10 a 15°C, como se describe en el ejemplo 40.

[000147] La Figura 130 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento STMB y carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, de 5 a 10°C, como se describe en el ejemplo 40.

[000148] La Figura 131 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento STMB y carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, de 5 a 10°C, como se describe en el ejemplo 40.

[000149] La Figura 132 muestra calorimetría, como potencia versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento STMB y carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, de 10 a 15°C, como se describe en el ejemplo 40.

[000150] La Figura 133 muestra calorimetría, como energía liberada versus tiempo para una mezcla de mortero producida con un cemento STMB y carbonatada durante 2, 4, o 6 minutos, de 10 a 15°C, como se describe en el ejemplo 40.

[000151] La Figura 134 muestra la posición en la cual la varilla para administración de dióxido de carbono se dirige al tambor de un camión de mezcla final, en la segunda aleta en el camión en el lado inferior del tambor.

[000152] La Figura 135 muestra un sistema extensible para suministrar dióxido de carbono, tal como dióxido de carbono gaseoso y sólido derivado de dióxido de carbono líquido, al tambor de un camión de mezcla final, donde el sistema se une a una manga flexible que administra materiales al tambor del camión.

[000153] La Figura 136 muestra el sistema de la Figura 135 en posiciones contraída y extendida.

[000154] La Figura 137 muestra una micrografía electrónica como se describe en el ejemplo 41.

[000155] La Figura 138 muestra concentración de silicio en poros en mezclas de cemento carbonatadas a diferentes niveles de carbonatación a 8 minutos y 30 minutos después de la carbonatación.

[000156] La Figura 139 muestra curvas de energía para las mezclas carbonatadas de la Figura 138.

[000157] La Figura 140 muestra el efecto de carbonatación en la fijación inicial en mezclas de cemento preparadas con dos diferentes tipos de cemento.

[000158] La Figura 141 muestra el efecto de carbonatación en la fijación final en mezclas de cemento preparadas con dos diferentes tipos de cemento.

[000159] La Figura 142 muestra resistencia a la compresión de 24 horas en mezclas de mortero carbonatadas comparadas con mezclas de mortero de control (no carbonatadas), donde el único aglutinante fue cemento.

[000160] La Figura 143 muestra resistencia a la compresión en mezclas de mortero carbonatadas comparadas con mezclas de mortero de control (no carbonatadas), donde el aglutinante fue cemento y ceniza volante clase C.

[000161] La Figura 144 muestra resultados de resistencia a la compresión durante 1, 3, 7, y 28 días para muestras en diferentes ensayos industriales de carbonatación de mezclas

de concreto.

[000162] La Figura 145 muestra resultados de asentamiento para muestras en 12 ensayos industriales diferentes de carbonatación de mezclas de concreto.

[000163] La Figura 146 muestra resultados de aire para muestras en 12 ensayos industriales diferentes de carbonatación de mezclas de concreto.

[000164] La Figura 147 proporciona una ilustración esquemática de un camión de concreto volumétrico, convencional.

Descripción Detallada de la Invención

I. Introducción

[000165] Las emisiones de dióxido de carbono se reconocen como un problema significativo con respecto a la producción de cemento y el uso de concreto como un material de construcción. Se estima que el 5% de las emisiones de CO_2 anuales, mundiales son atribuibles a la producción de cemento. La industria ha reconocido previamente varios enfoques para reducir la intensidad de emisiones del cemento producido y utilizado. Las mejoras más significativas en eficiencia y sustitución de cemento es probable que ya se conozcan y estén disponibles. Mejoras de emisiones futuras serán probablemente crecientes. Se buscan enfoques innovadores que puedan ser una parte de una estrategia de inversión. Por lo tanto, también tendrá que buscarse un intervalo de enfoques futuros.

[000166] Un método potencial es subir el ciclo de dióxido de carbono capturado en productos de concreto. El mecanismo de la carbonatación de cemento recién hidratado se estudió sistemáticamente en 1970 en la Universidad de Illinois. Las fases de cemento principales, silicato tricálcico y silicato dicálcico, mostraron que reaccionan con dióxido de carbono en la presencia de agua para formar carbonato de calcio y gel de

silicato de calcio hidratado como se muestra en las ecuaciones 1 y 2:

$$3CaO\cdot SiO_2 + (3-x)CO_2 + yH_2O \rightarrow xCaO\cdot SiO_3\cdot yH_2O + (3-x)CaCO_3 \quad (1)$$

$$2CaO\cdot SiO_2 + (2-x)CO_2 + yH_2O \rightarrow xCaO\cdot SiO_3\cdot yH2O + (2-x)CaCO_3 \quad (2)$$

[000167] Además cualquier hidróxido de calcio libre presente en la pasta de cemento se hidratará rápidamente y reaccionará con dióxido de carbono, como se muestra en la ecuación 3:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O \quad (3)$$

[000168] Las reacciones de carbonatación son exotérmicas. La reacción procede en el estado acuoso cuando iones Ca^{2+} de las fases cementosas se encuentran con iones CO_3^{2-} del gas aplicado. El calor de reacción de la carbonatación para las fases de silicato de calcio principales son 347 kJ/mol para C3S y 184 kJ/mol para β-C2S y 74 kJ/mol para $Ca(OH)_2$.

[000169] Cuando se carbonatan los silicatos de calcio, el gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H) que se forma se entiende que se entremezcla con $CaCO_3$. La formación de gel C-S-H se presentas incluso en un caso ideal de β-C2S y C3S expuesto a un 100% de CO_2 a una atmósfera dada la observación que la cantidad de carbonato que se forma no corresponde exactamente a la cantidad de silicato de calcio implicado en la reacción.

[000170] La reacción de dióxido de carbono con una microestructura de concreto madura se reconoce convencionalmente como un problema de durabilidad debido a estos efectos como encogimiento, pH de solución de poro reducido, y corrosión inducida por carbonatación. En contraste, una reacción de carbonatación integrada en producción de concreto reacciona a CO_2 con cemento recién hidratado, en lugar de las bases de hidratación presentes en concreto maduro, y no tienen los mismos efectos. En su lugar, en virtud de la adición de CO_2 gaseoso al concreto recién mezclado se anticipa que los productos de reacción de

carbonato se forman ***in situ***, son de nano escala y se distribuyen de forma homogénea.

[000171] La invención proporciona métodos, aparatos, y composiciones para producción de materiales que comprenden un aglutinante de cemento, por ejemplo, un cemento hidráulico o cemento no hidráulico. "Mezcla de cemento", como se utiliza ese término en la presente, incluye una mezcla de un aglutinante de cemento, por ejemplo, un cemento hidráulico, tal como un cemento Portland, y agua; en algunos casos, "mezcla de cemento" incluye un aglutinante de cemento mezclado con agregado, tal como un mortero (también llamado una lechada, dependiendo de la consistencia), en el cual el agregado es agregado fino; o "concreto", que incluye un agregado grueso. El aglutinante de cemento puede ser un cemento hidráulico o no hidráulico, siempre y cuando proporcionen minerales, por ejemplo compuestos de calcio, magnesio, sodio y/o potasio tal como CaO, MgO, Na_2O, y/o K_2O que reaccionan con dióxido de carbono para producir productos estables o meta estables que contienen el dióxido de carbono, por ejemplo, carbonato de calcio. Un cemento hidráulico de ejemplo es cemento Portland. En general en la presente la invención incluye descripciones de aglutinante de cemento hidráulico y mezclas de cemento hidráulico, pero se apreciará que se prevé cualquier mezcla de cemento, ya sea que contiene un aglutinante de cemento hidráulico o no hidráulico, siempre y cuando el aglutinante de cemento sea capaz de formar productos estables o meta estables cuando se expone a dióxido de carbono, por ejemplo, contiene compuestos de calcio, magnesio, sodio y/o potasio tal como CaO, MgO, Na_2O, y/o K_2O. En ciertas modalidades, la invención proporciona métodos, aparatos, y composiciones para producción de una mezcla de cemento (concreto) que contiene cemento, tal como cemento Portland, tratada con dióxido de carbono. Como se utiliza en

la presente, el término “dióxido de carbono” se refiere a dióxido de carbono en un estado gaseoso, sólido, líquido, o súper crítico donde el dióxido de carbono está a una mayor concentración que su concentración en la atmósfera; se apreciará que bajo condiciones ordinarias en la producción de mezclas de cemento (mezclas de concreto) la mezcla se expone a aire atmosférico, que contiene menores cantidades de dióxido de carbono. La presente invención está dirigida a producción de mezclas de cemento que se exponen a dióxido de carbono a una concentración por encima de las concentraciones atmosféricas.

[000172] Las operaciones de mezcla de cemento se llevan a cabo comúnmente para proporcionar mezclas de cemento (concreto) para uso en una variedad de aplicaciones, la más común de las cuales es como un material de construcción. Estas operaciones incluyen operaciones de precolado, en las cuales se forma una estructura de concreto en un molde de la mezcla de cemento y se somete a algún grado de endurecimiento antes del transporte y uso en una ubicación separada de la ubicación de mezcla, y operaciones de mezcla final, en las cuales se suministran los ingredientes de concreto en una ubicación y se mezclan generalmente en una mezcladora transportable, tal como el tambor de un camión de mezcla final, y se transportan a una segunda ubicación, donde se utiliza la mezcla húmeda, convencionalmente al vaciarse o bombearse a un molde temporal. Las operaciones de precolado pueden ser ya sea una operación de colado en seco o una operación de colado en húmedo, mientras que las operaciones de mezcla final son de colado en húmedo. Cualquier otra operación en la cual se produce una mezcla de concreto en una mezcladora y se expone a dióxido de carbono durante la mezcla también está sujeta a los métodos y composiciones de la invención.

[000173] Sin que esté ligado por la teoría, cuando la mezcla de cemento (concreto) se expone a dióxido de carbono, el dióxido de carbono primero se disuelve en el agua de mezcla y entonces forma especies intermedias, antes de precipitarse como una especie estable o meta estable, por ejemplo, el carbonato de calcio. Conforme se remueven las especies de carbonato de la solución, puede disolverse en el agua dióxido de carbono adicional. En ciertas modalidades, el agua de mezcla contiene dióxido de carbono antes de la exposición al aglutinante de cemento. Todos estos procesos están abarcados por el término "carbonatación" de la mezcla de cemento, como se utiliza ese término en la presente.

II: Componentes

[000174] En ciertas modalidades la invención proporciona métodos para preparar una mezcla que contiene cemento, al poner en contacto una mezcla de un aglutinante de cemento, por ejemplo, cemento hidráulico y agua, y, opcionalmente, otros componentes tal como agregado (una "mezcla de cemento", o "concreto", por ejemplo, una "mezcla de cemento hidráulico") con dióxido de carbono durante alguna parte de la mezcla de la mezcla de concreto, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico.

[000175] En ciertas modalidades, se utiliza un cemento hidráulico. El término "cemento hidráulico", como se utiliza en la presente, incluye una composición que se fija y endurece después de combinarse con agua o una solución donde el solvente es agua, por ejemplo, una solución de aditivo. Después del endurecimiento, las composiciones retienen resistencia y estabilidad incluso bajo el agua. Una característica importante es que los hidratos formados de los constituyentes de cemento tras la reacción con agua son esencialmente insolubles en agua. Un cemento hidráulico utilizado puede ser cualquier cemento hidráulico capaz de

formar productos de reacción con dióxido de carbono. El cemento hidráulico más comúnmente utilizado se basa en cemento Portland. El cemento Portland se produce principalmente de caliza, ciertos minerales de arcilla, y yeso, en un proceso de alta temperatura que expulsa dióxido de carbono y combina químicamente los ingredientes principales en nuevos compuestos. En ciertas modalidades, el cemento hidráulico en la mezcla de cemento hidráulico está parcialmente o completamente compuesto de cemento Portland.

[000176] Una "mezcla de cemento hidráulico", como se utiliza ese término en la presente, incluye una mezcla que contiene al menos un cemento hidráulico y agua. Pueden estar presentes componentes adicionales, tal como agregados, aditivos, y similares. En ciertas modalidades la mezcla de cemento hidráulico es una mezcla de concreto, es decir, una mezcla de cemento hidráulico, tal como cemento Portland, agua, y agregado, opcionalmente que incluye también un aditivo.

[000177] Los métodos en ciertas modalidades están caracterizados al poner en contacto dióxido de carbono con aglutinante de cemento húmedo, por ejemplo, cemento hidráulico, en una mezcladora en cualquier etapa de la mezcla, tal como durante la mezcla del cemento con agua, o durante la mezcla de cemento humedecido con otros materiales, o ambos. El cemento puede ser cualquier cemento, por ejemplo, cemento hidráulico capaz de producir productos de reacción con dióxido de carbono. Por ejemplo, en ciertas modalidades el cemento incluye o es sustancialmente de forma completa cemento Portland, como se entiende ese término en la técnica. El cemento se puede combinar en la mezcladora con otros materiales, tal como agregados, para formar una mezcla de cemento-agregado, tal como mortero o concreto. El dióxido de carbono se puede añadir antes, durante, o después de la adición de los otros materiales además del cemento y el agua.

Además de o alternativamente, en ciertas modalidades la propia agua puede estar carbonatada, es decir, contiene dióxido de carbono disuelto.

[000178] En ciertas modalidades, la puesta en contacto del dióxido de carbono con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, puede presentarse cuando parte de pero no toda el agua se ha añadido, o cuando parte de pero no todo el cemento se ha añadido, o ambos. Por ejemplo, en una modalidad, se añade una primera alícuota de agua al cemento o mezcla de agregado-cemento, para producir un cemento o mezcla de agregado-cemento que contiene agua en una cierta relación de agua/cemento (w/c) o intervalo de relaciones w/c. En algunos casos uno o más componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como agregado, puede ser suficientemente húmedo que suministra suficiente agua de tal forma que la mezcla se puede poner en contacto con dióxido de carbono. Concurrentemente con, o después de, la adición del agua, se introduce dióxido de carbono a la mezcla, en tanto que la mezcla se mezcla en una mezcladora.

[000179] El dióxido de carbono puede ser de cualquier pureza y/o forma adecuada para ponerse en contacto con cemento, por ejemplo, cemento hidráulico durante la mezcla para formar productos de reacción. Como se describe, el dióxido de carbono está al menos por encima de la concentración de dióxido de carbono atmosférico. Por ejemplo, el dióxido de carbono puede ser líquido, gaseoso, sólido, o súper crítico, o cualquier combinación de los mismos. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono es gaseoso cuando se pone en contacto con el cemento, por ejemplo, cemento hidráulico, aunque se puede almacenar antes de ponerse en contacto en cualquier forma conveniente, por ejemplo, en forma líquida. En modalidades alternativas, alguna parte de o todo el

dióxido de carbono puede estar en forma líquida y administrarse al cemento o mezcla de cemento (concreto) por ejemplo, de tal forma para formar una mezcla de dióxido de carbono gaseoso y sólido; la corriente de dióxido de carbono líquido se puede ajustar por, por ejemplo, velocidad de flujo y/o selección de orificio para lograr una relación deseada de dióxido de carbono gaseoso a sólido, tal como relación de aproximadamente 1:1, o dentro de un intervalo de relaciones. El dióxido de carbono también puede ser sólido cuando se administra al concreto, es decir, como hielo seco; esto es útil cuando se desea una liberación controlada o sostenida de dióxido de carbono, por ejemplo, en un camión de mezcla final en tránsito a un sitio de mezcla, u otras operaciones de mezcla húmeda, ya que el hielo seco se sublima con el paso del tiempo para administrar dióxido de carbono gaseoso a la mezcla; el tamaño y forma del hielo seco añadido a la mezcla se puede manipular para asegurar dosis y tiempo de administración apropiados. En ciertas modalidades el dióxido de carbono se disuelve en agua y se administra al cemento o mezcla de cemento (concreto). El dióxido de carbono también puede ser de cualquier pureza adecuada para ponerse en contacto con el cemento o mezcla de cemento (concreto), por ejemplo, cemento hidráulico durante la mezcla bajo las condiciones de contacto especificadas para formar un producto de reacción. En ciertas modalidades el dióxido de carbono es más de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, o 99% puro. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono es más de 95% puro. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono es más de 99% puro. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono es 20-100% puro, o 30-100% puro, o 40-100% puro, o 50-100% puro, 60-100% puro, o 70-100% puro, o 80-100% puro, o 90-100% puro, o 95-100% puro, o 98-100% puro, o 99-100% puro. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono es 70-100% puro. En

ciertas modalidades, el dióxido de carbono es 90-100% puro. En cierta modalidad, el dióxido de carbono es 95-100% puro. Las impurezas en el dióxido de carbono pueden ser cualquier impureza que no interfiera sustancialmente con la reacción del dióxido de carbono con la mezcla de cemento húmedo, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. Son bien conocidas las fuentes comerciales de dióxido de carbono de pureza adecuada.

[000180] El dióxido de carbono, por ejemplo, dióxido de carbono gaseoso, líquido, o sólido, puede ser dióxido de carbono de alta pureza suministrado de forma comercial. En este caso, el dióxido de carbono comercial, por ejemplo, gaseoso, líquido, o sólido, se puede obtener de un proveedor que procesa gases de combustión gastados u otro dióxido de carbono residual por lo que el secuestro de dióxido de carbono en la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico captura el dióxido de carbono que de otra forma sería una emisión de gas invernadero.

[000181] Además, debido a que la carbonatación de una mezcla de cemento, por ejemplo, una mezcla de concreto, a menudo produce una mejora en la resistencia comparada con mezcla no carbonatada, se puede utilizar menos cemento en la producción de un concreto que es de la misma resistencia. En algunos casos, la cantidad de dióxido de carbono absorbido es modesta pero si se puede realizar un beneficio de resistencia consistente entonces hay motivación para optimizar el proceso y reducir el contenido de cemento. Por ejemplo, los productores de mampostería por lo general no tienen ninguna motivación interna o externa para producir producto que tenga una resistencia 119% del producto convencional. En su lugar, se puede alcanzar una ganancia económica al utilizar un diseño de mezcla que contiene menos cemento y logra, a través de la ayuda del proceso de carbonatación, 100% de la resistencia de producto no carbonatado. Un diseño de mezcla

de cemento reducido tendría adicionalmente beneficios ambientales claros dado que el clínker del cemento Portland convencionalmente tiene CO_2 incorporado en el orden de 866 kg de CO_{2e}/tonelada de clínker. Si el 5% del cemento se removió del diseño de mezcla de bloque (aproximadamente 333 kg/m^3) entonces los ahorros de emisiones serían alrededor de 14 kg/m^3 de concreto antes de incluir cualquier compensación neta relacionada con la absorción de CO_2. Por lo tanto, en ciertas modalidades, la invención proporciona una composición de concreto carbonatada que comprende una cantidad de cemento que es menor que la cantidad de cemento necesaria en una composición de concreto no carbonatada del mismo o sustancialmente el mismo diseño de mezcla, por ejemplo, al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 17, 20, 25, 30, 40, o 50% menos cemento, pero con una resistencia, por ejemplo, resistencia a la compresión, que está dentro 20, 15, 10, 5, 3, 2, o 1% de la resistencia a la compresión de la mezcla de concreto no carbonatada en un tiempo o tiempos dados después de la mezcla, por ejemplo 24 horas, 2 días, 7 días, 14 días, 21 días, 56 días, o 91 días, o una combinación de los mismos. Estos tiempos son simplemente de ejemplo y cualquier tiempo o combinación de tiempos que da información significativa acerca de la resistencia de la mezcla en relación con su uso propuesto se puede utilizar. Estas composiciones alcanzan un ahorro neto en emisiones de CO_2 que incluye la cantidad de dióxido de carbono absorbido por la composición, y la cantidad de emisión de dióxido de carbono evitada debido a que se necesita menos cemento en la producción de la composición. Por ejemplo, el ahorro neto de emisiones puede ser al menos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 12, 15, 17, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, o 150 kg de CO_2/m^3 de concreto para el concreto carbonatado en comparación con el concreto no carbonatado. El concreto puede

estar en la forma de un objeto precolado, tal como un bloque, tubo, ladrillo, adoquín, o similares. El concreto puede estar en la forma de un concreto de mezcla final que se vacía en moldes en un sitio de trabajo. La carbonatación del concreto puede producir nano cristales de carbonato de calcio como se describe en otra parte en la presente. También se pueden alcanzar ahorros de costos sustanciales al disminuir la cantidad de cemento para una mezcla de concreto dada sin sacrificar la resistencia.

[000182] El dióxido de carbono se pone en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante la mezcla por cualquier ruta adecuada, tal como a través de una parte o toda la superficie de la mezcla de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, bajo la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, o cualquier combinación de los mismos. En ciertas modalidades donde se mezcla concreto en un primer contenedor y entonces se introduce un segundo contenedor, tal como en una instalación de procesamiento por lotes de mezcla final donde el concreto primero se mezcla en una mezcladora después se transfiere al tambor de un camión de mezcla final, se introduce dióxido de carbono al segundo contenedor antes de que el concreto pre-mezclado se introduzca a ese contenedor. Además, o alternativamente, el concreto se puede poner en contacto con dióxido de carbono conforme se transfiere del primer contenedor de mezcla al segundo contenedor. El dióxido de carbono puede estar en cualquier forma como se describe en la presente, por ejemplo, gas, sólido, o una mezcla de gas y sólido. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se introduce al segundo contenedor como un sólido, o una mezcla de gas y sólido; por ejemplo, el dióxido de carbono se puede suministrar en un conducto como dióxido de carbono líquido o al salir de una

abertura u orificio del conducto, convertirse a dióxido de carbono sólido y gaseoso, como se describe en otra parte en la presente; la corriente de dióxido de carbono gaseoso y sólido se puede dirigir al segundo contenedor antes de la introducción del concreto, y/o dirigir la corriente de concreto introducida al segundo contenedor. Ya que es ventajoso tener una mayor cantidad de dióxido de carbono sólido para evitar escape de dióxido de carbono gaseoso a la atmósfera, se pueden ajustar las condiciones de la introducción para lograr una alta relación de dióxido de carbono sólido a gaseoso. De forma alternativa o adicional, el dióxido de carbono se puede introducir al segundo contenedor como hielo seco, como se describe en otra parte en la presente. El dióxido de carbono en el segundo contenedor entonces se pone en contacto con el concreto pre-mezclado conforme se vacía al segundo contenedor y conforme el segundo contenedor continúa mezclando el concreto.

[000183] Por ejemplo, en una operación de mezcla final, a menudo se mezcla concreto en una mezcladora en el sitio de procesamiento por lotes y se vacía en los tambores de camiones de mezcla final para transporte al sitio de trabajo. El concreto continúa mezclándose en el tambor del camión de mezcla final. Se puede introducir dióxido de carbono al tambor del camión de mezcla final, por ejemplo, como dióxido de carbono gaseoso y sólido formado a partir de dióxido de carbono líquido, o como hielo seco sólido o una combinación de los mismos, antes de que el concreto se vacíe de la mezcladora al tambor. Además, o de forma alternativa, el dióxido de carbono se puede dirigir a la corriente de concreto conforme se vacía de la mezcladora al tambor. Cuando el dióxido de carbono es una mezcla de gas y sólido, por ejemplo, producido de un dióxido de carbono líquido, la corriente de gas y sólido se puede dirigir para ponerse en

contacto con la corriente de concreto que se vacía de la mezcladora, así como introduciéndose al tambor del camión de mezcla final. Por lo tanto la corriente de dióxido de carbono sólido y gaseoso se puede colocar de esta forma para introducir dióxido de carbono a la corriente de concreto que entra al tambor del camión, y también para introducir dióxido de carbono al propio tambor. El dióxido de carbono, por ejemplo, dióxido de carbono sólido o una mezcla de dióxido de carbono sólido y gaseoso, también se puede introducir al tambor del camión antes del vaciado del concreto al tambor. Se apreciará que se puede utilizar cualquier combinación de los enfoques anteriores a fin de poner en contacto el concreto en el tambor del camión con dióxido de carbono. Estos enfoques son especialmente útiles con bajas dosis de dióxido de carbono, tal como dosis no mayores que 2%, o no mayores que 1.5%, o no mayores que 1 % bwc, como se describe en otra parte en la presente.

[000184] En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se pone en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante la mezcla por contacto con la superficie de la mezcla de mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. Sin que esté ligado por la teoría, se cree que el dióxido de carbono puesto en contacto con la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se disuelve y/o reacciona en el agua, y entonces se subsume debajo de la superficie por el proceso de mezcla, que entonces expone diferente mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento, para que se ponga en contacto, y que este proceso continúa siempre y cuando el cemento hidráulico humedecido se exponga al dióxido de carbono. Se apreciará que el proceso de disolución y/o reacción puede continuar después de que se detiene el flujo de dióxido de carbono, ya que el dióxido de

carbono probablemente permanecerá en la mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. En modalidades en las cuales se utiliza dióxido de carbono líquido para producir dióxido de carbono gaseoso y sólido, el dióxido de carbono sólido se sublimará y continuará administrando dióxido de carbono gaseoso a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico después de que se ha cesado el flujo de dióxido de carbono líquido. Esto es particularmente útil en operaciones de camión de mezcla final, donde puede haber tiempo insuficiente en la instalación de procesamiento por lotes para permitir que se absorba la cantidad deseada de dióxido de carbono; el uso de dióxido de carbono líquido que se convierte a dióxido de carbono gaseoso y sólido permite que se administre más dióxido de carbono a la mezcla incluso después de que el camión abandona la instalación de procesamiento por lotes.

[000185] En particular, en una operación de mezcla final, el concreto se puede mezclar en una mezcladora estacionaria, entonces transferir al tambor del camión de mezcla final, o los componentes del concreto se pueden administrar al tambor del camión de mezcla final y la mezcla de los componentes para proporcionar concreto se presenta en el tambor. En el primer caso, el dióxido de carbono se puede administrar a la mezcladora estacionaria, y en este caso, la administración puede ser similar o idéntica a aquella utilizada en, por ejemplo, una operación de precolado, es decir, se administra dióxido de carbono por un conducto que se abre a la mezcladora y administra el dióxido de carbono a la superficie de la mezcla de concreto. El dióxido de carbono puede ser de cualquier forma como se describe en la presente. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se administra como líquido que, tras salir de la abertura del conducto, se convierte a un sólido y un gas, como se describe en la presente. Se puede

lograr carbonatación adicional del concreto, si se desea, por administración de dióxido de carbono adicional al tambor del camión de mezcla final después de que se administra el concreto al mismo. De forma alternativa, todo el dióxido de carbono se puede administrar al tambor del camión de mezcla final; este claramente será el caso si la mezcla de concreto se presenta en el tambor. En este caso, se necesita un sistema de administración para dióxido de carbono al tambor del camión de mezcla final.

[000186] El dióxido de carbono se puede administrar después de que los componentes de la mezcla de concreto se colocan en el tambor; por ejemplo, en algunas operaciones de mezcla final, el tambor se mueve a un foso de lavado donde se lava antes de abandonar el patio. Cuando se utiliza este sistema de administración, el posicionamiento del conducto para el dióxido de carbono, también llamado como una varilla o lanza en la presente, de tal forma que la abertura está en una cierta posición y altitud con respecto al tambor puede ser importante. Un aspecto de algunas modalidades de la invención es el posicionamiento de la varilla, y/o aparato para hacerlo, para facilitar la mezcla eficiente del dióxido de carbono gaseoso y sólido con la mezcla de cemento conforme gira el tambor. Se puede utilizar cualquier método y/o aparato de posicionamiento adecuado para optimizar la eficiencia de la absorción de dióxido de carbono en la mezcla de cemento siempre y cuando coloque la varilla de una forma que proporcione absorción eficiente del dióxido de carbono, por ejemplo, al colocar la varilla de tal forma que la abertura se dirige a un punto donde una onda de concreto creada por las aletas del tambor de mezcla final se pliega sobre la mezcla; sin que esté ligado por la teoría se piensa que la onda que se pliega sobre la aleta inmediatamente subsume el dióxido de carbono sólido dentro de la mezcla de

cemento por lo que libera dióxido de carbono gaseoso por sublimación en la mezcla en lugar de al aire, como lo haría si estuviera sobre la superficie de la mezcla. Un posicionamiento de ejemplo se muestra en la Figura 134, donde la varilla se apunta a la segunda aleta en el tambor del camión, en el lado inferior de la aleta. En un camión de mezcla final que transporta una carga completa, la abertura de la varilla puede estar muy cerca de la superficie de la mezcla de concreto, como se describe más adelante, para facilitar el flujo direccional de la mezcla de dióxido de carbono al área apropiada. Parte de o toda la varilla se puede producir de material flexible de tal forma que si una aleta u otra parte del tambor golpean la varilla se flexiona regresando entonces a su posición original.

[000187] En otras modalidades, la invención proporciona un sistema para colocar un conducto de administración de dióxido de carbono en un camión de mezcla final por lo que la abertura de conducto se dirige a una cierta posición en el tambor del camión, por ejemplo, como se describe anteriormente. El conducto puede administrar dióxido de carbono gaseoso o una mezcla de dióxido de carbono gaseoso y sólido a través de la abertura. En este último caso, el conducto se construye de materiales que pueden soportar el dióxido de carbono líquido transportado por el conducto a la abertura. El sistema puede incluir una guía, que se puede montar sobre el camión, por ejemplo montado de forma permanente, o que puede ser parte del montaje de lanza, que se configura para permitir el posicionamiento reversible del conducto, por ejemplo, al proporcionar un cilindro o funda en la cual se puede insertar el producto, por lo que el conducto se coloca en el ángulo deseado para administración del dióxido de carbono a un punto particular, y un tope para asegurar que el conducto se inserte de tal forma que la

abertura está a una distancia deseada del concreto. Esto es simplemente de ejemplo y una persona experta en la técnica reconocerá que se puede utilizar cualquier número de dispositivos de posicionamiento, siempre y cuando se obtenga el ángulo y la posición de la abertura con respecto a un punto deseado en el tambor. La varilla se coloca en la guía, por ejemplo, de forma manual, por el conductor, o automáticamente por un sistema automatizado que detecta las posiciones de los diferentes componentes. Un sensor se puede activar cuando la varilla se coloca apropiadamente y un controlador del sistema entonces puede comenzar la administración de dióxido de carbono, ya sea en ese momento o después de un retardo deseado. El controlador se puede configurar de tal forma que si el conducto no se coloca apropiadamente, por ejemplo, el sensor no envía la señal, la administración no comenzará. El sistema también se puede configurar de tal forma que si se presenta uno o más eventos antes, durante, o después de la administración, suena una alarma y/o se modula la administración, por ejemplo, se detiene, o no se inicia. Por ejemplo, una alarma puede sonar si la varilla pierde la señal del sensor de posicionamiento durante la inyección, la presión es mayor que 25 psi cuando se cierran ambas válvulas para administración de dióxido de carbono gaseoso y líquido al conducto, por ejemplo, cuando ambas se cierran (lo que determina si una válvula se queda abierta), o si el siguiente camión en la fila no se ha iniciado en una cierta cantidad de tiempo. Lógica de ejemplo para un controlador puede incluir:

[000188] Si la varilla pierde la señal durante la inyección, se enciende una luz de alarma y puede aparecer un mensaje en una HMI, por ejemplo, una pantalla, informando a un operador que la varilla de inyección se desconectó y que reconecte y presione el botón de inicio para continuar. También puede

haber un indicador, por ejemplo, un botón que indica “inyección completa” que finalizaría ese lote y registra lo que se inyectó realmente versus el objetivo. En una instalación de procesamiento por lotes en la cual se procesan por lotes una pluralidad de diferentes camiones, un controlador de sistema se puede configurar para recibir entrada con respecto a la identidad de cada camión en el sitio de administración de dióxido de carbono y selecciona la acción apropiada, por ejemplo, administración/no administración, temporización, flujo, y cantidad de dióxido de carbono administrado, y similares. Por ejemplo, para introducir un número de camión que corresponde al camión actual que se procesa (señal que se envía al PLC), puede aparecer un recuadro de dialogo cuando el controlador de sistema obtiene la señal del PLC del cliente que solicita a un operador “por favor introduzca el número de identificación” (por ejemplo, un número de 1-10 dígitos), alternativamente los números de identificador de camión pueden estar en un orden predeterminado, por ejemplo, secuencial. Para elegir la opción, puede haber un conmutador selector en la pantalla de mantenimiento. También se puede proporcionar retroalimentación a un operador, por ejemplo, un operador de lotes, que muestra información relevante para la corrida de lotes, tal como número de identificación, tiempo de procesado de lote, tiempo de inyección, dosis necesaria y dosis inyectada, y similares. Las unidades de las dosis pueden ser cualquier unidad adecuada, por ejemplo, ya sea libras o kilogramos dependiendo de las unidades seleccionadas. Se puede proporcionar una “hoja de cálculo” que muestra todos los lotes del día actual (o hace que la fecha sea seleccionable) de tal forma que el operador de lotes puede revisarla y desplazarse a través de la misma, por ejemplo una hoja de cálculo imprimible.

[000189] En ciertas modalidades, se añade dióxido de carbono al tambor de un camión de mezcla final en tanto que el camión se coloca para recibir los componentes del concreto; esto permite contacto más temprano del dióxido de carbono con la mezcla de concreto y también permite que todos los componentes-concreto y dióxido de carbono- se añadan a la vez, evitando la necesidad de que el operador del camión lleve a cabo un paso adicional para añadir el dióxido de carbono. En general, en una operación donde los componentes del concreto se añaden al tambor del camión de mezcla final para mezcla, un conducto grande, flexible, generalmente llamado como una manga de carga, tal como una manga de caucho, se coloca para dirigir los materiales (cemento, agregado, etc.) de la tolva/depósito de carga en el canal del camión de concreto; este sistema reduce al mínimo el derrame. Ver Figura 135. En este caso, se puede colocar un conducto más pequeño para administración de dióxido de carbono dentro del conducto más grande (manga) para moverse con la manga y configurarse para dirigir el dióxido de carbono al tambor del camión de mezcla final. Por lo tanto, otro método y aparato de ejemplo para colocar una varilla para administración de dióxido de carbono a un camión de mezcla final se describe en los ejemplos 42 y las Figuras 135 y 136. En este sistema, una manguera flexible alojada en un tubo, donde la manguera se extiende a través de una manga de carga y al canal del camión de concreto por la acción de un aparato adecuado para extender la manguera, tal como una barra de cilindro de aire telescópica o un dispositivo giratorio. Se pueden configurar adecuadamente uno o más componentes del aparato para dirigir el dióxido de carbono a una ubicación o área deseada en el tambor, tal como por una curva en el aparato.

[000190] En modalidades en las cuales se dirige dióxido de carbono como mezcla de sólido/gas en una mezcladora, tal como

en un camión de mezcla final o a una mezcladora estacionaria, puede ser deseable modular el flujo, por ejemplo, lentificar el flujo, por lo que las partículas de dióxido de carbono sólido pueden agruparse conjuntamente en partículas más grandes antes de ponerse en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico tal como concreto, en la mezcladora. Sin que esté ligado por la teoría, se piensa que al permitir que se formen conglomeraciones más grandes, se lentifica la velocidad y sublimación y el dióxido de carbono gaseoso liberado es más probable que se absorba por la mezcla de cemento en lugar de que escape a la atmósfera.

[000191] Un método que modula el flujo de la mezcla de dióxido de carbono sólido/gaseoso es expandir el diámetro del conducto a través del cual fluye la mezcla de sólido/gas, y/o introducir una curva en el conducto. Tanto el incremento en el diámetro como la curva en el conducto funcionan para lentificar la velocidad; sin embargo, en ciertas modalidades se utiliza sólo un incremento en el diámetro; en ciertas modalidades, se utiliza sólo una curva. Se puede utilizar cualquier configuración adecuada en tamaño, con o sin una curva, siempre y cuando se lentifique la velocidad de flujo del dióxido de carbono gaseoso/sólido suficientemente para proporcionar el agrupamiento deseado de partículas sólidas antes de ponerse en contacto con la mezcla de cemento; en general se prefiere que la velocidad permanezca suficientemente alta que el dióxido de carbono sólido no se adhiera dentro del conducto.

[000192] También se puede utilizar un diámetro más grande, con o sin una curva, para un conducto utilizado para administrar una mezcla de gas/sólido de dióxido de carbono a una mezcladora no estacionaria, por ejemplo, un camión de mezcla final. El incremento de diámetro del conducto puede

ser cualquier incremento que produzca el agrupamiento deseado del dióxido de carbono sólido, de manera preferente con nada de o muy poca acumulación de dióxido de carbono sólido en el conducto.

[000193] Se apreciará que se pueden utilizar otros sistemas para colocar un conducto para administración de dióxido de carbono a un camión de mezcla final, tal como sistemas en donde el conducto, o lanza, se une a un soporte y se coloca en el tambor del camión sin que se una temporalmente al camión. Estos sistemas están incluidos en modalidades de la invención. Para descripciones de sistemas de ejemplo, ver, por ejemplo, Publicación de Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 2014/0216303, y Patente de los Estados Unidos No. 8,235,576.

[000194] En modalidades en las cuales se pone en contacto dióxido de carbono con la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, se puede dirigir el flujo de dióxido de carbono de una abertura o pluralidad de aberturas (por ejemplo, abertura de colector o conducto) que está al menos 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, o 100 cm de la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante el flujo de dióxido de carbono, en promedio, dado que la superficie de la mezcla no se moverá con la mezcla, y/o no más de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 170, o 200 cm de la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante el flujo de dióxido de carbono, en promedio. En ciertas modalidades, la abertura está a 5-100 cm de la superficie, en promedio, tal como 5-60 cm, por ejemplo 5-40 cm.

[000195] Otros métodos para incrementar la administración de dióxido de carbono, tal como uso de agua cargada con dióxido de carbono en la mezcla, también se pueden utilizar. Además,

o alternativamente, el dióxido de carbono sólido, es decir, hielo seco, se puede utilizar directamente por adición a la mezcla de concreto. Esto permite administración controlada conforme se sublima hielo seco, como se describe. Por ejemplo, se puede añadir hielo seco a una mezcla de cemento en un camión de mezcla final. La cantidad de hielo seco añadida puede ser suficiente para proporcionar una dosis de 0.01-5% de dióxido de carbono bwc, por ejemplo, 0.01-1%, o 0.01-0.5%, o 0.01-0.2%, o 0.1-2%, o 0.1-1%, o 0.2-3%, o 0.5-3%. El hielo seco se puede añadir en uno o más lotes. La forma del hielo seco se puede seleccionar dependiendo de, por ejemplo, la velocidad de administración de dióxido de carbono gaseoso deseada; por ejemplo, si se desea administración rápida, el hielo seco se puede añadir como gránulos pequeños, incrementando así la relación de superficie/volumen para la sublimación de dióxido de carbono, o si se desea administración más lenta, el hielo seco se puede añadir como una masa más grande, por ejemplo, losa, con una relación de superficie/volumen correspondientemente más pequeña y sublimación más lenta, o cualquier combinación de formas y masas para lograr la dosis deseada de dióxido de carbono y velocidad de administración. El hielo seco se puede añadir en cualquier etapa conveniente en la mezcla, por ejemplo, al comienzo de la mezcla o dentro de un período de 5 o 10 minutos del inicio de la mezcla, o posteriormente en la mezcla, por ejemplo, conforme un camión de mezcla final se aproxima a un sitio de trabajo o al momento de administración de su carga de concreto. Además, el dióxido de carbono sólido se puede añadir antes o después de una primera, segunda, o tercera adición de agua donde la adición de agua a la mezcla de concreto se divide en dos o más dosis. La velocidad de mezcla para la mezcla de concreto también se puede modular para lograr una velocidad deseada de dosificación u otros

resultados deseados. Por ejemplo, en ciertas modalidades, la invención proporciona un método para administrar dióxido de carbono a concreto que se mezcla en un camión de mezcla final al añadir dióxido de carbono sólido a la mezcla de concreto durante la mezcla, donde al menos 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, o 99% del dióxido de carbono administrado al concreto se añade en la forma de dióxido de carbono sólido.

[000196] En modalidades en las cuales se pone en contacto el dióxido de carbono bajo la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, se puede utilizar cualquier ruta adecuada para proporcionar el dióxido de carbono. En algunas modalidades, el flujo de dióxido de carbono puede ser tanto debajo de la superficie como sobre la superficie, ya sea por uso de dos aberturas diferentes o pluralidad de aberturas o por movimiento de las aberturas con respecto a la mezcla, por ejemplo, bajo la superficie en una etapa y sobre la superficie en otra, lo que puede ser útil para impedir obstrucción de las aberturas.

[000197] El dióxido de carbono se puede poner en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico de tal forma que está presente durante la mezcla por cualquier aparato o sistema adecuado. En ciertas modalidades, se suministra dióxido de carbono gaseoso o líquido por uno o más conductos que contienen una o más aberturas colocadas para suministrar el dióxido de carbono a la superficie de la mezcla de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. El conducto y abertura pueden ser tan simples como un tubo, por ejemplo, un tubo flexible con un extremo abierto. El conducto puede ser suficientemente flexible para permitir movimiento de diferentes componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, la abertura de conducto, y similares, y/o suficientemente flexible para que

se añada a un sistema existente como una adaptación. Por otra parte, el conducto puede ser suficientemente rígido, o fijo, o ambos, para asegurar que no interfiera con ninguna parte movible de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico. En ciertas modalidades, se puede utilizar parte del conducto para suministrar otros ingredientes en la mezcla de cemento, por ejemplo, agua, y configurada de tal forma que cualquiera del otro ingrediente o el dióxido de carbono fluye a través del conducto, por ejemplo, por una unión en T.

[000198] En ciertas modalidades, el dióxido de carbono sale del conducto o conductos por uno o más colectores que comprenden una pluralidad de aberturas. La abertura o aberturas se pueden colocar para reducir o eliminar obstrucción de la abertura con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. El colector se conecta generalmente por el conducto a al menos una válvula de suministro de fluido (gas o líquido), que regula el flujo de fluido presurizado entre una fuente de dióxido de carbono, por ejemplo suministro de líquido o gas presurizado, y el colector. En algunas modalidades, la válvula de suministro de fluido puede incluir una o más válvulas de compuerta que permite la incorporación de equipo de calibración, por ejemplo, uno o más medidores de flujo de masa.

[000199] La masa del dióxido de carbono provisto a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico por el conducto o conductos se puede controlar por un controlador de flujo de masa, que puede modular la válvula de suministro de fluido, por ejemplo, cerrar la válvula para cesar el suministro de fluido de dióxido de carbono (líquido o gas).

[000200] El dióxido de carbono también se puede administrar a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico como parte del agua de mezcla, es decir, disuelto

en alguna parte de o toda el agua de mezcla. Son bien conocidos los métodos de carga de agua con dióxido de carbono, tal como el uso de tecnología disponible en la industria de gaseosa. Alguna parte de o todo el dióxido de carbono que se va a utilizar se puede administrar de esta forma. El agua de mezcla se puede cargar a cualquier concentración deseada de dióxido de carbono lograble con la tecnología disponible, tal como al menos 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, o 16 g de dióxido de carbono/L de agua, y/o no más de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 18, 20, 22, o 24 g de dióxido de carbono/L de agua, por ejemplo 1-12, 2-12, 1-10, 2-10, 4-12, 4-10, 6-12, 6-10, 8-12, u 8-10 g de dióxido de carbono/L de agua. Se apreciará que la cantidad de dióxido de carbono disuelto en el agua de mezcla es una función de la presión del dióxido de carbono y la temperatura del agua de mezcla; a menores temperaturas, se puede disolver mucho más dióxido de carbono que a mayores temperaturas. Sin que esté ligado por la teoría, se piensa que el agua de mezcla cargada de esta forma se pone en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico y el dióxido de carbono contenido en la misma reacciona de forma muy rápida con los componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, dejando el agua disponible para disolver dióxido de carbono adicional que se puede añadir al sistema, por ejemplo, en forma gaseosa.

[000201] En ciertas modalidades, una mezcla de cemento tal como una mezcla de concreto se carbonata con dióxido de carbono suministrado como agua carbonatada, por ejemplo, en el tambor de un camión de mezcla final. El agua carbonatada sirve como una porción del agua de mezcla total para la mezcla particular. El agua carbonatada puede proporcionar al menos 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, o 90% del agua de mezcla total, y/o no más de 10, 20, 30, 40, 50,

60, 70, 80, 90, 95, o 100% del agua de mezcla. El agua carbonatada se puede añadir al comienzo de la mezcla de la mezcla de cemento, o se puede añadir después del inicio de la mezcla, es decir, después de una primera adición de agua para humedecer la mezcla de cemento. Se puede añadir como un lote o en etapas, por ejemplo, como 2, 3, 4, 5 o más de 5 lotes. Los lotes pueden ser iguales en volumen o de diferentes volúmenes, y tienen la misma carbonatación o diferentes carbonataciones. En ciertas modalidades, el agua carbonatada es menos del 100% del agua de mezcla total, por ejemplo, menos de 80%, o menos de 70%, o menos de 60%, o menos de 50%. En ciertas de estas modalidades, primero se añade agua no carbonatada a la mezcla, y la mezcla de cemento, por ejemplo, concreto, se permite mezclar durante un cierto período antes de que se añada agua carbonatada, por ejemplo, durante al menos 5, 10, 15, 20, 30, 40, o 50 segundos, o al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, o 60 minutos antes de la adición del agua carbonatada, y/o no más de 10, 15, 20, 30, 40, o 50 segundos o 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 240, o 360 minutos antes de la adición de agua carbonatada. En ciertas modalidades, el retardo antes de que se añade el agua carbonatada a la mezcla está entre 10 segundos y 5 minutos, por ejemplo, entre 20 segundos y 40 minutos, tal como entre 30 segundos y 3 minutos. Ver ejemplo 38. La velocidad de flujo del agua carbonatada se puede ajustar de tal forma que se requiere una cierta duración para completar la adición, tal como una duración de al menos 10, 20, 30, 40, o 50 segundos, o al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, o 30 minutos, y/o no más de 10, 20, 30, 40, o 50 segundos, o no más de 1, 2, 3, 4 ,5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, o 30 minutos. En ciertas modalidades, la duración de adición de agua carbonatada está entre 30 segundos y 8 minutos, por

ejemplo, entre 30 segundos y 6 minutos, tal como entre 30 segundos y 4 minutos. Ver ejemplo 38. El agua carbonatada puede contribuir todo el dióxido de carbono utilizado para carbonatar una mezcla de cemento, por ejemplo, concreto (despreciando el dióxido de carbono atmosférico); esto es especialmente verdadero para carbonatación de baja dosis, por ejemplo, carbonatación con una dosis de dióxido de carbono de menos de 1.5 % bwc, o menos de 1.0 % bwc, o menos de 0.8 % bwc. El agua carbonatada puede contribuir parte o todo el dióxido de carbono utilizado para carbonatar una mezcla de cemento, por ejemplo, concreto, tal como no más de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 95, o 100% del dióxido de carbono y/o al menos 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, o 95% del dióxido de carbono. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono restante se suministra como un gas. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono restante se suministra como un sólido. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono restante se suministra como una mezcla de un gas y un sólido, por ejemplo, dióxido de carbono administrado a un orificio dirigido a la mezcladora en forma líquida, que se vuelve gas y sólido cuando pasa a través del orificio. La mezcla exacta de agua carbonatada y otra fuente de dióxido de carbono se determinará con base en la dosis de dióxido de carbono que se va a administrar y otros factores, tal como tiempo de administración, temperatura (menores temperaturas permiten mayor administración de dióxido de carbono por el agua carbonatada), y similares. El agua carbonatada se puede producir por cualquier método adecuado, como se describe en la presente, y se puede administrar a la mezcladora, por ejemplo, el camión de mezcla final, por la línea de agua normal o por una línea dedicada. En ciertas modalidades, alguna parte de o toda el agua carbonatada se produce del agua de proceso que se produce durante, por ejemplo, una

operación de mezcla final, tal como agua de lavado carbonatada que se ha filtrado, o agua de lavado carbonatada no filtrada, o una combinación de las mismas. El agua de lavado se puede carbonatar por cualquier método adecuado. Ver ejemplo 39. El agua de lavado carbonatada puede proporcionar al menos 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, o 90% del agua de mezcla carbonatada, total, y/o no más de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, o 100% del agua de mezcla carbonatada total. En ciertas modalidades, el agua carbonatada se administra a la mezcla en el sitio de lote y/o durante el transporte, y se administra una dosis opcional en el sitio de trabajo, dependiendo de las características de la mezcla medida en el sitio de trabajo. El uso de agua carbonatada puede permitir eficiencias muy altas de absorción de dióxido de carbono, así como control preciso de dosis, por lo que se puede lograr dosificación de dióxido de carbono altamente eficiente y reproducible. En ciertas modalidades en las cuales se utiliza agua de mezcla carbonatada, la eficiencia de carbonatación puede ser mayor que 60, 70, 80, 90, o incluso 95%, incluso cuando se opera en mezcladoras, tal como tambores de mezcla final, que están abiertos a la atmósfera.

[000202] El dióxido de carbono se suministra de una fuente de dióxido de carbono, tal como, en el caso de dióxido de carbono gaseoso, un tanque presurizado relleno con gas rico en dióxido de carbono, y un regulador de presión. El tanque se puede rellenar cuando está casi vacío, o se puede mantener relleno por un compresor. El regulador puede reducir la presión en el tanque a una presión de alimentación máxima. La presión de alimentación máxima puede estar por encima de la atmosférica, pero debajo de la presión de flujo de gas supercrítica. La presión de alimentación puede estar, por ejemplo, en un intervalo de 120 a 875 kPa. Se puede añadir

una válvula de alivio de presión para proteger a los componentes de la fuente de dióxido de carbono. El dióxido de carbono suministrado por la fuente de dióxido de carbono puede estar a aproximadamente temperatura ambiente, o se puede enfriar o calentar como se desee. En ciertas modalidades, se suministra alguna parte o todo el dióxido de carbono como un líquido. En algunos casos el líquido se convierte en gas antes de la administración a la mezcladora. En otros casos, los restos de un líquido en almacenamiento y movimiento a la mezcladora, y cuando se libera a la mezcladora forma una mezcla que comprende dióxido de carbono sólido y gaseoso. En este último caso, se puede utilizar uno o más sensores de presión; por ejemplo, el sistema de boquilla para controlar formación de hielo seco entre la boquilla y un solenoide así como para confirmar que se mantiene la presión pre-solenoide para asegurar que la línea permanezca líquida.

[000203] El dióxido de carbono se puede introducir a la mezcladora de tal forma que se pone en contacto con la mezcla de cemento hidráulico antes, durante, o después de la adición de agua, o cualquier combinación de los mismos, siempre y cuando esté presente durante alguna porción de la mezcla o alguna o toda la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se introduce durante una cierta etapa o etapas de mezcla. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se introduce a una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante la mezcla en una sola etapa. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se introduce durante una etapa de adición de agua, seguido por una segunda etapa de adición de agua. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se introduce a una porción de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, seguido

por adición de una o más porciones adicionales de mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico.

[000204] En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se introduce a una primera etapa de mezcla de agua en la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, entonces, después de esta etapa, se añade agua adicional sin dióxido de carbono. Por ejemplo, se puede añadir agua a una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, una mezcla de cemento Portland, hasta que se logre una relación w/c deseada, entonces se puede poner en contacto el dióxido de carbono durante la mezcla de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante un cierto tiempo a una cierta velocidad o velocidades de flujo (o como se dirige por la retroalimentación, descrita de forma adicional más adelante), entonces después de que se haya detenido el flujo de dióxido de carbono, se puede añadir agua adicional en una o más etapas adicionales para alcanzar un contenido w/c deseado, o una fluidez deseada, en la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. Las mezclas de cemento contienen agregados, y se apreciarán que el agregado disponible puede ya tener un cierto contenido de agua y se necesita poca o ninguna agua adicional para lograr la relación w/c deseada para la primera etapa y que, en algunos entornos, puede no ser posible lograr la relación w/c deseada debido a que el agregado puede ser muy húmedo, en cuyo caso la relación w/c más cercana a la óptima se logra. En ciertas modalidades, la relación w/c para la primera etapa es menor que 0.5, o menor que 0.4, o menor que 0.3, o menor que 0.2, o menor que 0.18, o menor que 0.16, o menor que 0.14, o menor que 0.12, o menor que 0.10, o menor que 0.08, o menor que 0.06. En ciertas modalidades, la relación w/c para la primera etapa es menor que 0.4. En ciertas modalidades, la relación w/c para la primera etapa es menor que 0.3. En

ciertas modalidades, la relación w/c para la primera etapa es menor que 0.2. En ciertas modalidades, la relación w/c para la primera etapa es menor que 0.18. En ciertas modalidades, la relación w/c para la primera etapa es menor que 0.14. En ciertas modalidades, la relación w/c para la primera etapa es 0.04-0.05, o 0.04-0.4, o 0.04-0.3, o 0.04-0.2, o 0.04-0.18, o 0.04-0.16, o 0.04-0.14, o 0.04-0.12, o 0.04-0.10, o 0.04-0.08. En ciertas modalidades la relación w/c para la primera etapa es 0.06-0.5, o 0.06-0.4, o 0.06-0.3, o 0.06-0.24, o 0.06-0.22, o 0.06-0.2, o 0.06-0.18, o 0.06-0.16, o 0.06-0.14, o 0.06-0.12, o 0.06-0.10, o 0.06-0.08. En ciertas modalidades, la relación w/c para la primera etapa es 0.08-0.5, o 0.08-0.4, o 0.08-0.3, o 0.08-0.24, o 0.08-0.22, o 0.08-0.2, o 0.08-0.18, o 0.08-0.16, o 0.08-0.14, o 0.08-0.12, o 0.08-0.10. En ciertas modalidades, la relación w/c para la primera etapa es 0.06-0.3. En ciertas modalidades, la relación w/c para la primera etapa es 0.06-0.2. En ciertas modalidades, la relación w/c para la primera etapa es 0.08-0.2. Además del agua adicional en etapas posteriores a la primera etapa, cuando, en general, no se introduce ninguna parte de dióxido de carbono adicional, se puede hacer para lograr una cierta relación w/c final, o para lograr una cierta fluidez. Por ejemplo, para un camión de mezcla final se añade una cierta cantidad de agua a la mezcla en el sitio de producción de mezcla final, entonces se puede añadir agua adicional al sitio de trabajo para lograr fluidez apropiada en el sitio de trabajo. La fluidez se puede medir por cualquier método adecuado, por ejemplo, la prueba de asentamiento bien conocida.

[000205] En algunas modalidades, se añade dióxido de carbono durante la mezcla a una porción de una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en una etapa, entonces porciones adicionales de materiales, por ejemplo, mezcla de

cemento adicional, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, se añaden en una o más etapas adicionales.

[000206] El dióxido de carbono, por ejemplo, dióxido de carbono gaseoso o dióxido de carbono líquido, se introduce en la mezcla de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, en la primera etapa de mezcla, a una cierta velocidad de flujo y durante una cierta duración a fin de lograr una exposición de dióxido de carbono total. La velocidad de flujo y la duración dependerán, por ejemplo, de la pureza del gas de dióxido de carbono, el tamaño del lote total para la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico y el nivel deseado de carbonatación de la mezcla. Un sistema de medición y válvula o válvulas ajustables en el uno o más conductos se pueden utilizar para monitorizar y ajustar las velocidades de flujo. En algunos casos, la duración del flujo de dióxido de carbono para proporcionar exposición está en o por debajo de un tiempo máximo, tal como en o por debajo de 100, 50, 20, 15, 10, 8, 5, 4, 3, 2, o un minuto. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es menor que o igual a 5 minutos. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es menor que o igual a 4 minutos. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es menor que o igual a 3 minutos. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es menor que o igual a 2 minutos. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es menor que o igual a 1 minuto. En algunos casos, la duración del flujo de dióxido de carbono para proporcionar exposición está dentro de un intervalo de tiempos, tal como 0.5-20 min, o 0.5-15 min, o 0.5-10 min, o 0.5-8 min, o 0.5-5 min, o 0.5-4 min, o 0.5-3 min, o 0.5-2 min, o 0.5-1 min, o 1-20 min, o 1-15 min, o 1-10 min, o 1-8 min, o 1-5 min, o 1-4 min, o 1-3 min, o 1-2

min. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es 0.5-5 min. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es 0.5-4 min. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es 0.5-3 min. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es 1-5 min. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es 1-4 min. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es 1-3 min. En ciertas modalidades, la duración del flujo de dióxido de carbono es 1-2 min.

[000207] La velocidad de flujo y la duración del flujo se pueden ajustar o configurar para lograr un nivel deseado de carbonatación, como se mide en peso de cemento (bwc). Se apreciará que el nivel preciso de carbonatación dependerá de las características de una mezcla y operación de mezcla dadas. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es más de 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, o 10% bwc. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es más de 1% en peso. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es más de 2% bwc. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es más de 3% bwc. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es más de 4% bwc. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es más de 5% bwc. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es más de 6% bwc. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 1-20%, o 1-15%, o 1-10%, o 1-8%, o 1-6%, o 1-5%, o 1-4%, o 1-3%, o 1-2%, o 2-20%, o 2-15%, o 2-10%, o 2-8%, o 2-6%, o 2-5%, o 2-4%, o 2-3%, o 0.5-20%, o 0.5-15%, o 0.5-10%, o 0.5-8%, o 0.5-6%, o 0.5-5%, o 0.5-4%, o 0.5-3%, o 0.5-2%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 0.05-3%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 0.05-2%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 1-6%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 1-4%. En ciertas modalidades, el

nivel de carbonatación es 2-8%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 2-6%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 2-4% En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 3-10%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 3-8%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 3-6%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 4-10%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 4-8%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 4-6%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 5-10%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 5-8%. En ciertas modalidades, el nivel de carbonatación es 5-6%. El nivel de carbonatación se puede comprobar por cualquier método adecuado, tal como por método de análisis de combustión estándar, por ejemplo calentar la muestra y cuantificar la composición del gas de salida. Un instrumento tal como el Eltra CS-800 (KR Analytical Cheshire, RU), o se puede utilizar instrumento de LECO (LECO Corporation, St. Joseph, Michigan).

[000208] Se apreciará que el nivel de carbonatación también depende de la eficiencia de la carbonatación, y que inevitablemente alguna parte del dióxido de carbono administrado a la mezcla de la mezcla de cemento se perderá la atmósfera; por lo tanto, la cantidad real de dióxido de carbono administrada se puede ajustar con base en la eficiencia esperada de carbonatación. Por lo tanto para todos los niveles deseados de carbonatación como se listan, se puede añadir un factor apropiado para determinar la cantidad de dióxido de carbono que se va a administrar como una dosis a la mezcla de cemento; por ejemplo, si la eficiencia esperada es 50% y el nivel de carbonatación deseado es 1% bwc, entonces se administraría una dosis de 2% bwc a la mezcla. Se pueden calcular dosis apropiadas para carbonataciones deseadas a una eficiencia de 5, 10, 20, 30,

40, 50, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 96, 97, 98, o 99%.

Carbonatación de baja dosis

[000209] En ciertas modalidades, se utiliza un nivel relativamente bajo de carbonatación, por ejemplo, un nivel de carbonatación por debajo de 1%, 0.8%, 0.7%, 0.6%, 0.5%, 0.4%, 0.3%, 0.2%, 0.1%, o 0.05% bwc. Se ha encontrado que ciertas propiedades, por ejemplo, fijación y desarrollo de resistencia tempranos, se pueden acelerar en mezclas de cemento, tal como mezclas de cemento hidráulico, que se exponen a niveles relativamente bajos de dióxido de carbono durante la mezcla. Es posible que, en algunos casos, la exposición pueda ser suficientemente baja que el grado de carbonatación no está perceptiblemente por encima de aquella de una mezcla de cemento similar que no se ha expuesto a dióxido de carbono; sin embargo, la exposición puede conducir a propiedades mejoradas, deseadas. Por lo tanto, en ciertas modalidades, la mezcla de la mezcla de cemento se expone a una cierta dosis relativamente baja de dióxido de carbono (en algunos casos independientemente del valor de carbonatación final); en este sentido, se utiliza el dióxido de carbono como un aditivo cuya concentración final en la mezcla de cemento no es importante sino en su lugar sus efectos en las propiedades de la mezcla. En ciertas modalidades, la mezcla se puede exponer a una dosis de dióxido de carbono de no más de 1.5%, 1.2%, 1%, 0.8%, 0.7%, 0.6%, 0.5%, 0.4%, 0.3%, 0.2%, 0.1% o 0.05% bwc y/o al menos 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, o 1.2% bwc, tal como una dosis de 0.01-1.5%, 0.01-1.2%, 0.01-1%, 0.01-0.8%, 0.01-0.6%, 0.01-0.5%, 0.01-0.4%, 0.01-0.3%, 0.01-0.2%, o 0.01-0.1% bwc, o una dosis de 0.02-1.5%, 0.02-1.2%, 0.02-1%, 0.02-0.8%, 0.02-0.6%, 0.02-0.5%, 0.02-0.4%, 0.02-0.3%, 0.02-0.2%, o 0.02-0.1% bwc, o una dosis de 0.04-1.5%, 0.04-1.2%, 0.04-1%, 0.04-0.8%, 0.04-0.6%, 0.04-0.5%, 0.04-0.4%, 0.04-0.3%, 0.04-0.2%, o

0.04-0.1% bwc, o una dosis de 0.06-1.5%, 0.06-1.2%, 0.06-1%, 0.06-0.8%, 0.06-0.6%, 0.06-0.5%, 0.06-0.4%, 0.06-0.3%, 0.06-0.2%, o 0.06-0.1% bwc, o una dosis de 0.1-1.5%, 0.1-1.2%, 0.1-1%, 0.1-0.8%, 0.1-0.6%, 0.1-0.5%, 0.1-0.4%, 0.1-0.3%, o 0.1-0.2% bwc. La elección de nivel de exposición dependerá de los factores tal como eficiencia de carbonatación en el proceso que se utiliza, grado de modulación de una o más propiedades deseadas (por ejemplo, desarrollo temprano de resistencia o fijación temprana), tipo de operación (por ejemplo, colado en seco versus colado en húmedo), y tipo de cemento, ya que diferentes tipos de cemento pueden producir mezclas con diferentes grados de modulación con una exposición a dióxido de carbono dada. Si se utiliza un tipo de mezcla o cemento no familiar, se puede realizar trabajo preliminar para encontrar una o más dosis de dióxido de carbono adecuadas para producir los resultados deseados. Especialmente en el caso de desarrollo acelerado de fijación y/o resistencia, el uso de una dosis apropiada de dióxido de carbono puede permitir que el trabajo progrese más rápido, por ejemplo, vaciados verticales pueden moverse hacia arriba de forma más rápida, se pueden acabar superficies de forma más temprana, se remueven moldes de forma más temprana, y similares.

Adaptación de carbonatación de la mezcla y condiciones en el sitio

[000210] En todos los ajustes de dosificación, por ejemplo, en dosis baja, la dosis elegida para una mezcla dada así como condiciones de dosificación, por ejemplo, para producir un incremento deseado en la fijación o resistencia tempranas, o para producir un incremento óptimo en la fijación o resistencia tempranas, pueden depender de la mezcla y especialmente del cemento utilizado en la mezcla, así como condiciones en el campo donde se presenta la dosificación y

el uso de forma real. Los cementos utilizados en las mezclas por lo general se producen de forma local y varían de una ubicación geográfica a otra, y la química particular de un cemento se puede determinar sí o no será benéfica a partir de la carbonatación, así como parámetros de dosificación óptimos, tal como dosis total, tiempo para añadir dióxido de carbono, velocidad de adición, y similares. Otros componentes de una mezcla particular, por ejemplo SCM tal como ceniza volante o escoria, también pueden proporcionar una o más especies reactivas que también influyen en la carbonatación. Ver, por ejemplo, ejemplo 45.

[000211] En ciertas modalidades, la invención proporciona métodos para determinar sí o no carbonatar una mezcla de cemento dada, y/o para determinar un nivel de carbonatación y/o dosis de dióxido de carbono y/o condiciones de dosificación para lograr un resultado deseado de la carbonatación de una mezcla de cemento, por ejemplo, desarrollo temprano de resistencia, o desarrollo de resistencia en un período de tiempo particular, cantidad reducida de cemento requerido, o similares. La determinación se puede realizar por predicciones para una mezcla dada, por ejemplo, con base en la composición química de los componentes, o prueba, o una combinación de los mismos. En la prueba, se puede monitorizar cualquier característica adecuada o combinación de características en la prueba, tal como resistencia, fluidez, y otras características que son importantes para el diseño de lote particular que se prueba. En ciertas modalidades la invención proporciona un método de carbonatación de una mezcla de cemento, por ejemplo, concreto, durante la mezcla, donde se añade dióxido de carbono a la mezcla en una cierta dosis o intervalo de dosis, en donde la dosis o intervalo de dosis se determina al probar uno o más componentes de la mezcla, por ejemplo, el concreto,

para determinar una dosis o un intervalo de dosis que produce incremento óptimo deseado en resistencia y/o fijación tempranas.

[000212] La composición de la mezcla de cemento para la prueba puede ser cualquier composición adecuada, por ejemplo, tan simple como cemento y agua, o un mortero que incluye también agregado fino, por ejemplo, arena, así como componentes adicionales opcionales, tal como aditivos y similares. Ver ejemplos para composiciones utilizadas en la prueba. En ciertas modalidades la mezcla de concreto que se va a utilizar se prueba en una operación dada.

[000213] La carbonatación de la mezcla de cemento de prueba se puede lograr por cualquiera de los métodos descritos en la presente, por ejemplo por administración de dióxido de carbono a la mezcla de cemento bajo condiciones controladas para lograr una cierta dosis de dióxido de carbono a la mezcla. En ciertas modalidades, la carbonatación se logra al utilizar una solución de bicarbonato, en lugar de dióxido de carbono. Se cree que esencialmente todo el bicarbonato administrado a una mezcla de concreto se convertirá a carbonato por lo que es posible controlar el nivel exacto de carbonatación de la mezcla lograda, y por lo tanto determinar primero un nivel deseado de carbonatación, por ejemplo, al probar una pluralidad de niveles de carbonatación para encontrar el nivel o intervalo de niveles que producen el efecto o efectos deseados. Ver, por ejemplo, ejemplo 37.

[000214] Sin importar qué método de carbonatación se utilice, si se utiliza pre-prueba para determinar una dosis o intervalo de dosis, en general se lleva a cabo una pluralidad de pruebas, es decir, utilizando al menos dos o al menos tres, o al menos cuatro dosis diferentes de dióxido de carbono. Para administración de baja dosis de dióxido de carbono, las dosis pueden estar todas por debajo de 1.5%, o

1.2%, o 1.0%, o 0.8%, o 0.6% de dióxido de carbono bwc. Una dosis de intervalo de dosis que se van a utilizar en el campo se determinan de uno o más resultados de prueba de las mezclas de prueba, por ejemplo, resultados de calorimetría, como se describe en la presente, y/o resultados de resistencia a la compresión, y/o resultados de fijación, y/o resultados de asentamiento. Los métodos para medir resistencia, fijación, asentamiento y otras características de las mezclas de concreto son bien conocidas en la técnica y se describen, por ejemplo, en los protocolos de prueba ASTM apropiados. En ciertas modalidades, la mezcla de prueba comprende el tipo de cemento que se va a utilizar en la mezcla de concreto, y agua; componentes adicionales pueden incluir uno o más agregados, aditivos, SCM, y cualquier otro componente adecuado, por ejemplo, como se utilizará en la mezcla de concreto; en general, se utilizan componentes en o cerca de la proporción que se utilizará en la mezcla de concreto. En ciertas modalidades, la mezcla de prueba comprende todos los componentes que se van a utilizar en la mezcla de concreto, en las mismas proporciones como se utilizarán.

[000215] Entonces se puede cambiar el enfoque para lograr consistentemente el nivel deseado de carbonatación bajo las condiciones en las cuales el dióxido de carbono se administrará realmente a la mezcla de cemento que se va a utilizar en el campo. Por ejemplo, en una operación de mezcla final, se puede lograr una cierta eficiencia, por ejemplo, al utilizar técnicas descritas en la presente, por lo que la dosis de dióxido de carbono administrada de forma real se puede ajustar de acuerdo con la eficiencia de carbonatación. Los factores tal como la temperatura probable en la instalación de procesamiento por lotes y/o sitio de trabajo también pueden afectar la carbonatación y también se puede

tomar en cuenta. Ver ejemplo 40. Se apreciará que los métodos y composición de la invención se puede utilizar para permitir que se utilicen mezclas de concreto a temperaturas menores de las que de otra forma no se utilizarían en virtud de los efectos de carbonatación en desarrollo temprano de resistencia, por ejemplo, a una temperatura al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, o 10°C por debajo de la temperatura a la cual se puede utilizar una mezcla no carbonatada del mismo o sustancialmente el mismo diseño.

[000216] Otros factores que pueden afectar la eficiencia de carbonatación y/o el efecto de los carbonatos pueden incluir factores tal como velocidad de cizallamiento de la mezcla, temporización después de que se añade el agua a la mezcla en la cual se añade el dióxido de carbono a la mezcla, por ejemplo, adición retardada, y temperatura como se describe anteriormente. Sin que esté ligado por la teoría, se piensa que estos factores pueden afectar la formación de carbonato de calcio nano métrico, que a su vez pueden afectar la influencia resultante de formación de carbonato de calcio en, por ejemplo, desarrollo de resistencia y/u otras características de la mezcla de cemento. Una alta velocidad de cizallamiento puede impedir agregación de partículas y de esta forma promueve la formación de nano partículas. Al retardar la adición de dióxido de carbono se puede permitir que el calcio entre en la solución y permite que se desarrolle la química de la solución.

[000217] En algunas modalidades, la invención proporciona métodos para determinar sí o no carbonatar una mezcla de cemento dada, y/o para determinar un nivel de carbonatación y/o dosis de dióxido de carbono y/o condiciones de dosificación para lograr un resultado deseado de carbonatación de una mezcla de cemento, por ejemplo, desarrollo temprano de resistencia, o desarrollo de

resistencia en un período de tiempo particular, o cantidad reducida de cemento necesario en la mezcla, o similares. Se determina, completamente o en parte, a partir de la composición química del cemento que se va a utilizar en la mezcla de cemento. En ciertas modalidades, uno o más de CaO libre, CaO total, contenido alcalino, pérdida por ignición, uno o más óxidos, relación de calcio a sílice, finura, contenido de hierro, o combinación de los mismos se pueden utilizar para determinar una dosis o intervalo de dosis para carbonatación, y/o condiciones de dosificación para una mezcla de cemento particular.

[000218] Se apreciará que, en el caso de carbonatación de baja dosis, puede no ser posible que se determine un valor de carbonatación, y que en todos los casos las pruebas de resistencia puedan requerir múltiples muestras y días a semanas para completarse. Por lo tanto en algunas modalidades, se determina una dosis predeterminada de dióxido de carbono utilizando un marcador alternativo, tal como calorimetría isotérmica. La liberación de calor durante la hidratación está relacionada con dos picos algo superpuestos. La liberación de calor principal está relacionada con la hidratación de silicatos, en tanto que una segunda liberación de calor, observada como una joroba en la pendiente descendiente del pico de silicato, se asocia con la hidratación de los aluminatos. La prueba de calorimetría isotérmica es fácil de llevar a cabo en mortero o incluso pasta de cemento con preparación de muestras muy mínima en comparación con la producción de muestras de concreto, que permite por lo tanto un método rápido y conveniente para determinar una dosis de CO_2 óptima y temporización para un cemento dado, al probar un intervalo de dosis y tiempos de administración. Los resultados obtenidos están ya sea en la forma de velocidad de flujo de calor con respecto al tiempo

(también llamado como energía versus tiempo en la presente), que describe la velocidad de hidratación de cemento, o en la forma de calor de hidratación con respecto al tiempo, que es la velocidad de flujo de calor integrada (también llamada como energía versus tiempo en la presente). Ver, por ejemplo, ejemplo 30, que describe varias dosis diferentes de dióxido de carbono añadido a concreto en el tambor de un camión de mezcla final, en ensayos llevados a cabo en dos días separados. Las Figuras 81-85 muestran las resistencias a la compresión absoluta y relativa de muestras de las diferentes dosis de dióxido de carbono, en diferentes puntos de tiempo, para el primer día. Se puede ver que conforme incrementó la dosis de dióxido de carbono, incrementó la resistencia en todos los puntos de tiempo en general. Las curvas de calorimetría isotérmica mostradas en las Figuras 86A y 86B reflejan esto, con la dosis más alta de dióxido de carbono que provoca el mayor cambio en la curva, y segunda y tercera dosis más altas que dan el segundo y tercer cambios más grandes en las curvas. Se pueden ver resultados similares en otros ejemplos, por ejemplo, ejemplo 30 y otros.

[000219] Cementos que son adecuados para carbonatación –con respecto a fijación acelerada y/o desarrollo temprano de resistencia- se pueden identificar fácilmente, y/o una dosis o dosis seleccionadas, así como tiempo de dosificación, de las curvas de isocalorimetría utilizando cualquier procedimiento adecuado, tal como un procedimiento en el cual se produce una pasta de cemento, mortero, o concreto utilizando el cemento que se prueba. También se pueden probar aditivos, ya sea de forma separada o como parte de un protocolo general, para determinar sus efectos en la trabajabilidad y otras características deseadas, así como dosis óptimas.

[000220] Un procedimiento de ejemplo es como sigue:

1. Preparar una muestra de “control-control” sin carbonatación y sin aditivo.

2. Preparar una muestra de control sin carbonatación y con aditivo para trabajabilidad de “control” deseada, si se utiliza aditivo.

3. Aumento de dosis de absorción de CO_2: Preparar una o más muestras carbonatadas con dosis de CO_2 incrementalmente mayores. Puede estar incluido un aditivo químico para restablecer la trabajabilidad, y/o para mejorar el desarrollo temprano de resistencia. Los propios aditivos se pueden optimizar al preparar muestras carbonatadas con dosis fija de CO_2 y dosificación y tipo de aditivo variable (por ejemplo comparar gluconato vs fructosa, antes y después de CO_2, con agente dispersante).

4. Graficar la potencia/velocidad de flujo de calor para cada mezcla como una función del tiempo.

5. Graficar la velocidad de flujo de calor/energía integrada, energía/calor de hidratación, como una función del tiempo, excluyendo el exoterma inicial que se presenta antes del comienzo del pico de hidratación principal en la gráfica de flujo de calor. Ver ASTM C 1679 para la definición del pico de hidratación principal.

Las siguientes características de la gráfica de velocidad de flujo de calor y el calor de hidratación son indicativas de desarrollo acelerado de fijación o resistencia temprana:

a) Si el comienzo del pico de hidratación principal en la gráfica de energía/velocidad de flujo de calor se presenta antes para una mezcla carbonatada entonces esto indica fijación acelerada y desarrollo temprano de resistencia.

b) Si la energía/calor de hidratación para una mezcla carbonatada excede el calor de hidratación para la

mezcla de control entonces esto indica una resistencia temprana continuamente más alta durante el tiempo que el calor de hidratación permanece por encima del control.

c) Si los resultados de muchas dosis diferentes de CO_2 y/o dosis de aditivo se obtienen entonces se pueden utilizar los resultados no sólo para identificar cementos que responden favorablemente a la carbonatación, sino también para "marcar" la dosis de aditivo y absorción de CO_2 óptima para el cemento con respecto al desarrollo de las propiedades mecánicas en la edad temprana.

[000221] La información obtenida es especialmente útil para evaluar cementos adecuados para carbonatación en aplicaciones de precolado y cualquier otra aplicación donde es de valor la fijación acelerada y la resistencia temprana. Opcionalmente, se pueden preparar muestras para prueba de desarrollo de resistencia, para verificar los resultados de calorimetría. En general, se utilizan aditivos para restaurar la trabajabilidad a fin de generar muestras bien compactas con datos de resistencia confiables. Las dosis para dióxido de carbono y, opcionalmente, tipos y dosis de aditivo, para una mezcla dada por lo tanto se pueden determinar rápidamente y de forma eficiente, entonces la dosis determinada en la prueba se utiliza en la carbonatación real.

[000222] En carbonatación de baja dosis, como en toda la mezcla de cemento, por ejemplo, se puede manipular el concreto, la carbonatación, en diferentes factores para producir resultados óptimos o deseados. Éstos incluyen uno o más de: tiempo después de comenzar la mezcla en el cual se aplica dióxido de carbono; número de dosis de dióxido de carbono; velocidad a la cual se suministra dióxido de carbono a la cámara de mezcla; forma de dióxido de carbono (gas, sólido, y/o disuelto en agua); y similares. Se dice que la mezcla ha comenzado tras la adición de la primera alícuota de

agua a la mezcla que contiene cemento. Se apreciará que en ciertos casos, los componentes de una mezcla de concreto, por ejemplo, agregado, pueden ser húmedos y que la "primera agua de mezcla" puede ser el agua en el agregado. El dióxido de carbono se puede suministrar a una mezcla antes de la primera adición de agua, por ejemplo al abnegar una cámara o espacio de cabezal con dióxido de carbono antes de la adición de agua, pero en este caso la aplicación de dióxido de carbono se considera que se presenta cuando se añade la primera agua, ya que prácticamente no se presentará ninguna reacción hasta que el dióxido de carbono se disuelva en el agua de mezcla.

[000223] En ciertas operaciones, por ejemplo, en operaciones de precolado, existe poca flexibilidad en cuándo se añade el dióxido de carbono a la mezcla de concreto, ya que los tiempos de mezcla por lo general son muy cortos y el concreto se utiliza convencionalmente de forma muy rápida después de la mezcla. En estas operaciones, la adición de dióxido de carbono a la mezcla de concreto comienza generalmente de forma simultánea con el comienzo de la mezcla o dentro de unos segundos o, a lo mucho, minutos del comienzo de la mezcla. En otras operaciones, por ejemplo, operaciones de mezcla final, existen varios momentos en los cuales se puede añadir dióxido de carbono a la mezcla de concreto. El dióxido de carbono se puede añadir durante el procesamiento de lotes, que puede presentarse ya sea en una mezcladora fija o en el tambor de un camión de mezcla final; en este caso, el dióxido de carbono se pone en contacto con el cemento hidratado en un momento muy cerca del comienzo de la mezcla, como en el caso de precolado. Algunas operaciones de mezcla final incluyen una o más operaciones adicionales después del procesamiento por lotes pero antes de que el camión haya abandonado la instalación de procesamiento por lotes, por ejemplo, una estación de lavado para lavar el camión después del

procesamiento por lotes, y en estas operaciones se puede añadir de forma alternativa o adicional dióxido de carbono en la instalación de procesamiento por lotes después del procesamiento por lotes, por ejemplo, en una estación de lavado, que implicará adición de dióxido de carbono en un tiempo de varios minutos después de que comienza la mezcla. Además o de forma alternativa, se puede añadir dióxido de carbono en el sitio de trabajo después de que se ha transportado el concreto, y en estos casos la adición de dióxido de carbono se añadirá a la mezcla de concreto en un tiempo hasta varias horas después de que comienza la mezcla. Se puede utilizar cualquier combinación adecuada de estos enfoques.

[000224] Por lo tanto, en ciertas modalidades, se aplica dióxido de carbono a la mezcla en 0 minutos, es decir, el dióxido de carbono se presenta a la cámara de mezcla cuando se suministra la primera agua de mezcla, o el suministro de dióxido de carbono a la cámara de mezcla comienza cuando se aplica la primera agua de mezcla, o ambos. En ciertas modalidades, se aplica dióxido de carbono al menos 0, 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50 segundos, o 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, o 90 minutos después de que comienza la mezcla, y/o no más de 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 120, 180, 240, o 300 minutos después de que comienza la mezcla. La duración de la administración de dióxido de carbono puede ser menor que o igual a 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, o 1, minutos, o menor que o igual a 50, 40, o 30 segundos, y/o mayor que o igual a 5, 10, 20, 30, 40, o 50 segundos, o mayor que o igual a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, u 8 minutos. En ciertas modalidades, la duración de administración de dióxido de carbono es 5 segundos a 5 minutos. En ciertas modalidades, la duración de administración de dióxido de carbono es 10 segundos a 4

minutos. En ciertas modalidades, la duración de administración de dióxido de carbono es 20 segundos a 3 minutos. En ciertas modalidades, la administración de dióxido de carbono comienza no más de 1 minuto después de que comienza la mezcla. Por ejemplo, en el caso de dióxido de carbono suministrado a una mezcla de concreto en un camión de mezcla final, los componentes de mezcla, que incluyen al menos parte del agua de mezcla, se pueden añadir al camión, y puede ser deseable que la adición de dióxido de carbono no comience hasta al menos 2, 3, o 4 minutos o más después de que ha comenzado la mezcla. Esta adición puede presentarse, por ejemplo, en una estación de lavado, donde el conductor se detiene para lavar el camión antes de comenzar la administración; el camión se detiene por lo general en la estación de lavado durante al menos 5-10 minutos, y se puede utilizar un sistema de administración de dióxido de carbono en el sitio para suministrar dióxido de carbono al tambor del camión durante la parada en la estación de lavado. Parte de o toda la dosis del dióxido de carbono se puede administrar de esta forma, por ejemplo al administrar dióxido de carbono al camión a través de la línea de agua (aunque se puede utilizar cualquier ruta adecuada); en modalidades donde se une una fuente de dióxido de carbono al camión puede haber un mecanismo para recordarle al conductor separarla antes de salir, tal como una alarma. De forma alternativa, o además, el tiempo deseable para adición de dióxido de carbono a la mezcla puede ser posterior en el tiempo de mezcla, tal como en un momento en el cual el camión está normalmente en ruta hacia el sitio de trabajo, o en el sitio de trabajo. En este caso, se puede unir una fuente portátil de dióxido de carbono al camión, con entubado y sistema de válvulas adecuados, para administrar una o más dosis de dióxido de carbono al tambor del camión en un momento posterior, tal como al menos 15, 30,

o 60 minutos después de que comienza la mezcla. Un controlador, que puede ser autónomo o se puede activar de forma remota y que pueden ver señales a un sitio remoto con respecto a información de dosificación y otra información, puede estar incluida en el sistema de tal forma que la dosificación comienza en un tiempo predeterminado después de que comienza la mezcla y continúa durante un tiempo predeterminado, o continúa hasta que se detecta alguna característica o características predeterminadas de la mezcla de concreto. Alternativamente, el tiempo y/o duración de dosificación se puede controlar de forma manual, o someter a accionamiento manual. La fuente de dióxido de carbono puede ser tan simple como un tanque presurizado de dióxido de carbono gaseoso, que se puede rellenar completamente de forma periódica, por ejemplo cuando el camión regresa al sitio de procesamiento por lotes, para asegurar un suministro suficiente de dióxido de carbono para cualquier ronda de carbonatación subsiguiente, por ejemplo, sin la necesidad de determinar niveles de dióxido de carbono en el tanque. En estas modalidades, alguna parte o toda la carbonatación puede presentarse en el sitio de trabajo, por ejemplo, con base en la determinación de una o más características del concreto.

[000225] La velocidad de administración del dióxido de carbono puede ser cualquier velocidad deseada y se puede controlar la velocidad. Una velocidad de administración más lenta se puede desear, especialmente en operaciones de mezcla húmeda tal como operaciones de mezcla final, donde la relación w/c más alta se conoce para lentificar la carbonatación en comparación con operaciones de relación w/c más baja, por ejemplo, algunas operaciones de precolado. Un ejemplo para controlar la velocidad de administración es dividir la dosis total de dióxido de carbono en dos o más dosis más pequeñas. Por lo tanto, el dióxido de carbono se

puede administrar como una sola dosis, o como múltiples dosis, por ejemplo, como al menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 o 10 dosis, y/o no más de 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, o 20 dosis; tal como 2-10 dosis, o 2-5 dosis. Cada dosis puede ser del mismo tamaño que las otras o diferentes, y el intervalo entre las dosis se puede temporizar de forma igual o no, como se desee. El número y tamaño exacto de las dosis se puede predeterminar, o puede estar dictado por una o más características de la mezcla que se monitorizan. El dióxido de carbono puede estar en cualquier forma adecuada, tal como gas, o una mezcla de gas/sólido.

[000226] Además o alternativamente, para velocidades más lentas de administración donde se controla la velocidad, se puede administrar dióxido de carbono gaseoso a una velocidad relativamente lenta, controlada. Por lo tanto, en algunas modalidades, el dióxido de carbono se administra al menos en parte como un gas a una velocidad controlada, donde la velocidad puede ser no más de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, u 800 SLPM (litros estándar por minuto), y o no menor que 10, 20, 30, 40, 50, 60, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, o 900 SLPM. Por ejemplo, en un camión de mezcla final en ruta a un sitio de trabajo, el dióxido de carbono se puede administrar a una velocidad de tal forma que se administra la dosis completa en tanto que el camión está en tránsito, por ejemplo, por un sistema de dosificación portátil como se describe anteriormente, durante un período de muchos minutos o incluso una hora o más, tal como a una velocidad de 100 a 600 SLPM, o incluso menores velocidades. La velocidad de administración puede ser constante, o se puede variar de acuerdo con un programa predeterminado, o como se dicta por una o más características de la mezcla de concreto que se monitorizan. Se puede utilizar cualquiera de

o tanto las dosis divididas como la dosificación de velocidad controlada, como se desee o se dicte por los requerimientos de trabajo y mezcla particulares.

[000227] Los métodos y composiciones de la invención permiten muy altos niveles de eficiencia de absorción de dióxido de carbono en la mezcla de concreto, donde la eficiencia de absorción es la relación de dióxido de carbono que permanece en la mezcla de concreto como productos de reacción estables a la cantidad total de dióxido de carbono a la cual se expone la mezcla de concreto. En ciertas modalidades, la eficiencia de la absorción de dióxido de carbono es al menos 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 96, 97, 98, 99, o 99%, o 40-100, 50-100, 60-100, 70-100, 80-100, 90-100, 40-99, 50-99, 60-99, 70-99, 80-99, o 90-99%.

[000228] En una operación de colado en húmedo, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como uno o más aditivos, descritos más completamente más adelante, se puede ajustar de tal forma que la fluidez de la mezcla de cemento final, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico está dentro del 10% de la fluidez de la que se lograría sin la adición de dióxido de carbono. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como uno o más aditivos, descritos más completamente más adelante, se ajustan de tal forma que la fluidez de la mezcla de cemento final, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico está dentro de 50, 40, 30, 20, 15, 10, 8, 5, 4, 3, 2, o 1% de la fluidez de la que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o de una fluidez predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como uno o más aditivos, descritos más completamente más adelante,

se ajustan de tal forma que la fluidez de la mezcla de cemento final, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico está dentro del 20% de la fluidez de la que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o una fluidez predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como uno o más aditivos, descritos más completamente más adelante, se ajustan de tal forma que la fluidez de la mezcla de cemento final, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico está dentro del 10% de la fluidez de la que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o una fluidez predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como uno o más aditivos, descritos más completamente más adelante, se ajustan de tal forma que la fluidez de la mezcla de cemento final, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico está dentro del 5% de la fluidez de la que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o una fluidez predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como uno o más aditivos, descritos más completamente más adelante, se ajustan de tal forma que la fluidez de la mezcla de cemento final, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico está dentro del 2% de la fluidez de la que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o una fluidez predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como uno o más aditivos, descritos más completamente más adelante, se ajustan de tal forma que la fluidez de la mezcla de cemento final, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico está dentro del 1-50% o 1-20%, o 1-10%, o 1-5%, o 2-50%, o 2-20%, o 2-

10%, o 2-5% de la fluidez de la que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o una fluidez predeterminada.

A. Aditivos

[000229] A menudo se utilizan aditivos en mezcla de cemento, por ejemplo, mezclas de cemento hidráulico, tal como mezclas de concreto, para impartir propiedades deseadas a la mezcla. Los aditivos son composiciones añadidas a una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico tal como concreto para proporcionarle características deseables que no son alcanzables con mezcla de cemento básica, por ejemplo, mezclas de cemento hidráulico, tal como mezclas de concreto o para modificar propiedades de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, es decir, concreto para hacerlo más fácilmente utilizable o más adecuado para un propósito particular o para reducción de costos. Un aditivo es cualquier material o composición, en lugar del cemento hidráulico, agregado y agua, que se utiliza como un componente de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como concreto o mortero para mejorar alguna característica, o reducir el costo, del mismo. En algunos casos, la mezcla de cemento deseada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, sólo se pueden alcanzar características de desempeño de concreto por el uso de un aditivo. En algunos casos, utilizando un aditivo se permite utilizar diseños o métodos de construcción menos costosos, los ahorros de los cuales pueden más que compensar el costo del aditivo.

[000230] En ciertas modalidades, la mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, concreto, puede exhibir características mejoradas cuando se compara con la misma mezcla que no se expuso al dióxido de carbono. Esto puede depender del tipo de cemento utilizado en la mezcla de cemento carbonatada y/o la dosis de

dióxido de carbono utilizada y carbonatación final lograda. En este sentido, el propio dióxido de carbono puede actuar como un aditivo. Por ejemplo, en ciertas modalidades, la mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de concreto, tiene propiedades superiores tal como mayor resistencia, tal como resistencia mayor que 1, 7, o 28 días, por ejemplo, al menos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 30, o 40% mayor resistencia que la mezcla de cemento no carbonatada en 1, 7, o 28 días. En general en la presente, "resistencia" se refiere a resistencia a la compresión, como ese término se entiende generalmente en la técnica. En ciertas modalidades, la mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, concreto puede exhibir fijación acelerada en comparación con mezcla no carbonatada, tal como un tiempo más rápido para fijación inicial (por ejemplo, medición de penetrómetro de 500 psi de acuerdo con ASTM C403) o un tiempo más rápido a la fijación final (por ejemplo, medición de penetrómetro de 4000 psi de acuerdo con ASTM C403), o ambas, tal como menor que 95, 90, 85, 90, 75, 70, 65, 60, 55, 50, 40, 30, o 20% del tiempo de fijación inicial o final en comparación con la mezcla no carbonatada. La mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico también puede proporcionar mezclas de concreto final que tienen menos absorción de agua en comparación con las no carbonatadas, tal como al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 15, 20, 30, o 40% menor absorción de agua. La mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, es decir, concreto, también puede producir un producto final que es de menor densidad pero de resistencia comparable en comparación con una no carbonatada, tal como al menos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 30, o 40% menor densidad con una resistencia a la compresión dentro de 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, o 20% de la no carbonatada, por ejemplo, al menos 5% menor densidad con una resistencia a la

compresión dentro del 2%.

[000231] Sin embargo, dependiendo del diseño de la mezcla, la mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, es decir, concreto, puede además o alternativamente, exhibir propiedades que se desean modular, tal como por la adición de un aditivo. Por ejemplo, la mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico para uso en una operación de colado en húmedo puede tener características de trabajabilidad/flujo que no son óptimas para una operación de colado en húmedo sin la adición de un aditivo u otra manipulación de la mezcla, por ejemplo, adición de agua adicional. Como otro ejemplo, las mezclas carbonatadas pueden tener características de resistencia, por ejemplo, resistencia a la compresión en uno o más puntos de tiempo, que no son óptimas si la adición de un aditivo u otra manipulación de la mezcla. En algunos casos, el diseño de la mezcla ya requerirá de un aditivo, cuyo efecto en las propiedades de la mezcla se puede afectar por la carbonatación, requiriendo coordinación de la temporización del aditivo con respecto a la adición de dióxido de carbono, u otra manipulación. Además, se puede utilizar un aditivo para modular uno o más aspectos de la propia carbonatación, por ejemplo, para incrementar la tasa de absorción del dióxido de carbono.

[000232] El concreto se puede utilizar en operaciones de colado en húmedo, tal como en ciertas operaciones de precolado o en camiones de mezcla final que transportan el concreto a un sitio de trabajo donde se utiliza, por ejemplo, vaciado en moldes o utilizado de otra forma en sitio, o en operaciones de colado en seco, que son operaciones de precolado. En el caso de una operación de colado en húmedo, la fluidez de concreto se debe mantener a un nivel compatible con su uso en la operación, por ejemplo, en el caso de un

camión de mezcla final, en el sitio de trabajo; mientras que para una operación de colado en seco es deseable concreto que no fluye (cero asentamiento). Tanto en operaciones de colado en seco como colado en húmedo, la resistencia, por ejemplo, resistencia a la compresión, es importante, ambas a corto plazo ya que se puede permitir que el concreto esté aislado, por ejemplo, se pueden remover moldes, se pueden manipular objetos de colado, etc., en el tiempo más corto posible, y también a largo plazo por lo que se alcanza una resistencia final necesaria. La fluidez de una mezcla se puede evaluar al medir el asentamiento; se puede evaluar la resistencia por una o más pruebas de resistencia, tal como resistencia a la compresión. Otras propiedades que se pueden afectar por la carbonatación; en algunos casos el efecto es uno positivo, pero si el efecto es uno negativo, se corrige a través del uso de uno o más aditivos. Estas propiedades incluyen encogimiento y absorción de agua.

[000233] En ciertos casos la carbonatación de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico puede afectar la fluidez de una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, es decir, una mezcla de concreto, que se va a utilizar en una operación de colado en húmedo, tal como en un camión de mezcla final que transporta la mezcla a un sitio de trabajo. Por lo tanto en ciertas modalidades en las cuales se produce una mezcla carbonatada (tal como para uso con un camión de mezcla final), se pueden añadir uno o más aditivos para modular la fluidez de la mezcla carbonatada, ya sea antes, durante, o después de la carbonatación, o cualquier combinación de las mismas, de tal forma que está dentro de un cierto porcentaje de fluidez de la misma mezcla sin carbonatación, o de una cierta fluidez predeterminada. La adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla, por ejemplo, mezcla de concreto y/o componentes

adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la fluidez de la mezcla final está dentro 50, 40, 30, 20, 10, 8, 5, 4, 3, 2, 1, 0.5, o 0.1% de la fluidez que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o de una cierta fluidez predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la fluidez de la mezcla final está dentro del 20% de la fluidez que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o dentro del 20% de una fluidez deseada predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la fluidez de la mezcla final está dentro del 10% de la fluidez que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o dentro del 10% de una fluidez deseada predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la fluidez de la mezcla final está dentro del 5% de la fluidez que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o dentro del 5% de una fluidez deseada predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la fluidez de la mezcla final está dentro del 2% de la fluidez que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o dentro del 2% de una fluidez deseada predeterminada. Se puede utilizar cualquier método de medición adecuado para determinar la fluidez, tal como la prueba de asentamiento bien conocida. Se puede utilizar cualquier aditivo adecuado, como se describe en la presente, tal como carbohidratos o derivados de carbohidratos, por

ejemplo, fructosa, sacarosa, glucosa, glucoheptonato de sodio, o gluconato de sodio, tal como glucoheptonato de sodio o gluconato de sodio.

[000234] En ciertas modalidades, se pueden añadir uno o más aditivos para modular la mezcla de tal forma que se puede lograr una resistencia deseada, ya sea resistencia temprana, resistencia tardía, o ambas. La resistencia de la mezcla de cemento carbonatada puede depender del diseño de la mezcla, por lo tanto, aunque con algunos diseños de mezcla la carbonatación puede incrementar la resistencia en uno o más puntos de tiempo, en otros diseños de mezcla la carbonatación puede disminuir la resistencia en uno o más puntos de tiempo. Ver ejemplos para diferentes diseños de mezcla en los cuales la carbonatación incrementó o disminuyó la resistencia en uno o más puntos de tiempo. En algunos casos, la carbonatación disminuye la resistencia en uno o más puntos de tiempo y se desea regresar la resistencia en el punto de tiempo a dentro de un cierto límite aceptable. En ciertos casos, se añaden uno o más aditivos para incrementar la resistencia más allá de aquella vista en concreto no carbonatado de la misma densidad. Esto se puede hacer, por ejemplo, para producir un concreto de peso ligero con resistencia comparable con el concreto no carbonatado, más denso. En otros casos, uno o más aditivos añadidos a un cemento carbonatado provocan por sí mismos o exacerban la pérdida de resistencia, y se desea recuperar la pérdida. Por lo tanto, en ciertas modalidades se añade un aditivo a la mezcla carbonatada, ya sea antes, durante, o después de la carbonatación, o una combinación de los mismos, bajo condiciones de tal forma que la mezcla carbonatada exhibe resistencia, por ejemplo, resistencia a la compresión de 1, 7, 28 y/o 56 días, dentro de un porcentaje deseado de la resistencia de la misma mezcla sin carbonatación, o de una resistencia predeterminada, por

ejemplo, dentro de 50, 40, 30, 20, 15, 12, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0.5, o 0.1%. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la resistencia en un punto de tiempo dado de la mezcla final está dentro de 20% de la resistencia que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o dentro de 20% de una resistencia deseada predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la resistencia en un punto de tiempo dado de la mezcla final está dentro de 10% de la resistencia que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o dentro de 10% de una resistencia deseada predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la resistencia en un punto de tiempo dado de la mezcla final está dentro de 5% de la resistencia que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o dentro de 5% de una resistencia deseada predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la resistencia en un punto de tiempo dado de la mezcla final está dentro de 2% de la resistencia que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o dentro de 2% de una resistencia deseada predeterminada. En ciertas modalidades la resistencia es una resistencia de compresión. Se puede utilizar cualquier método adecuado para probar resistencia, tal como resistencia a la compresión o a la flexión, siempre y cuando se utilice la misma prueba para muestras con y sin carbonatación. Cualquier aditivo adecuado

para lograr las resistencias deseadas se puede utilizar, tal como los aditivos descritos en la presente.

[000235] También se pueden probar otras propiedades, tal como absorción de agua, encogimiento, permeabilidad al cloruro, y similares, y ajustar de una manera similar, y a porcentajes similares, en cuanto a la fluidez y/o encogimiento.

[000236] Se apreciará que se puede utilizar más de un aditivo, por ejemplo, 2, 3, 4, 5, o más de 5 aditivos. Por ejemplo, ciertos aditivos tienen efectos deseables en la fluidez pero efectos indeseables en el desarrollo de resistencia; cuando se utiliza este aditivo, también se puede utilizar un segundo aditivo que acelera el desarrollo de resistencia.

[000237] Cualquier aditivo adecuado que tenga el efecto deseado en la propiedad o propiedades del cemento carbonatado que se desea modificar se puede utilizar. La Tabla 1 lista clases de ejemplo y ejemplos de aditivos que se pueden utilizar, por ejemplo, para modular los efectos de carbonatación.

Tabla 1 Aditivos para uso con cemento carbonatado

Clase Química	**Sub-Clase**	**Aplicación de Cemento**	**Ejemplos**
Sacáridos	Azúcares	Retardante	Fructosa, glucosa, sacarosa,
	Ácidos/bases de azúcar	Retardante	Gluconato de sodio, glucoheptonato de sodio
Polímeros Orgánicos	Éteres Policarboxílicos	Plastificante	Muchas marcas comerciales
	Naftaleno Sulfonado Formaldehído	Plastificante	Muchas marcas comerciales
	Melamina Formaldehído	Plastificante	Muchas marcas comerciales

	Sulfonado Ligno sulfonatos	Plastificante	Muchas marcas comerciales
Sales inorgánicas	Alcalinotérreos que contiene metal	Acelerador	$Ca(NO_3)_2$, $Mg(OH)_2$
	Que contienen Metales alcalinos	Acelerador	NaCl, KOH
	Que contienen carbonato	-	$NaHCO_3$, Na_2CO_3
Alcanolaminas	Alcanolaminas terciarias	Aceleradores/adyuvantes de molienda	Trietanolamina, Triisopropilamina
Fosfonatos	-	Retardantes	Nitrilotri(ácido metilfosfónico), ácido 2-fosfonobutano-1,2,4-tricarboxílico
Agentes tensoactivos	Resinas Vinsol, agentes tensoactivos sintéticos	Agentes inclusores de aire	Muchas marcas comerciales
Agentes Quelantes	Diferentes sustancias químicas	Retardantes	EDTA, ácido cítrico, ácido nitrilotriacético

[000238] En ciertas modalidades, se añade uno o más aditivos a una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, antes, durante, o después de la carbonatación de la mezcla, o una combinación de los mismos, donde el aditivo es un retardante de fijación, plastificante, acelerador, o agente inclusor de aire. Donde se desee modular la fluidez, son útiles retardantes de fijación y plastificantes. Donde se desea modular el desarrollo de resistencia, son útiles los aceleradores. Si se desea incrementar la velocidad de la absorción de dióxido de carbono, pueden ser útiles ciertos agentes inclusores de aire.

[000239] Los retardantes de fijación incluyen carbohidratos, es decir, sacáridos, tal como azúcares, por ejemplo, fructosa, glucosa, y sacarosa, y ácidos/bases de azúcar y sus sales, tal como gluconato de sodio y glucoheptonato de sodio; fosfonatos, tal como nitrilotri (ácido metilfosfónico), ácido 2-fosfonobutano-1,2,4-tricarboxílico; y agentes quelantes, tal como EDTA, ácido cítrico y ácido nitrilotriacético. Otros sacáridos y aditivos que contienen sacáridos incluyen melasa y jarabe de maíz. En ciertas modalidades, el aditivo es gluconato de sodio. Otros aditivos de ejemplo que pueden ser de uso como retardantes de fijación incluyen sulfato de sodio, ácido cítrico, BASF Pozzolith XR, sílice ahumada, sílice coloidal, hidroxietil celulosa, hidroxipropil celulosa, ceniza volante (como se define en ASTM C618), aceites minerales (tal como nafténico ligero), arcilla hectorita, polioxialquilenos, gomas naturales, o mezclas de los mismos, superplastificantes de policarboxilato, HRWR de naftaleno (reductor de agua de gama alta). Retardantes de fijación adicionales que se pueden utilizar incluyen, pero no se limitan a un compuesto de oxi-boro, lignina, un ácido polifosfónico, un ácido carboxílico, un ácido hidroxicarboxílico, ácido policarboxílico, ácido carboxílico hidroxilado, tal como ácido fumárico, itacónico, malónico, bórico, glucónico, y tartárico, lignosulfonatos, ácido ascórbico, ácido isoascórbico, copolímero de ácido sulfónico-ácido acrílico, y sus sales correspondientes, polihidroxisilano, poliacrilamida. Ejemplos ilustrativos de retardantes se exponen en las Patentes de los Estados Unidos Nos. 5,427,617, y 5,203,919, incorporadas en la presente como referencia.

[000240] Los aceleradores incluyen compuestos que contienen calcio, tal como CaO, $Ca(NO_2)_2$, $Ca(OH)_2$, estearato de calcio, o $CaCl_2$, y compuestos que contienen magnesio, tal como

hidróxido de magnesio, óxido de magnesio, cloruro de magnesio, o nitrato de magnesio. Sin que esté ligado por la teoría, se piensa que, en el caso de cemento carbonatado, el compuesto de calcio o magnesio añadido puede proporcionar calcio o magnesio libre para reaccionar con el dióxido de carbono, que proporciona un sumidero para el dióxido de carbono que evita el calcio en la mezcla de cemento, o que proporciona un sitio diferente de carbonatación que aquel del calcio de cemento, o ambos, preservando así el desarrollo temprano de resistencia. En ciertas modalidades, se puede añadir CaO (cal) a la mezcla, o un cemento de cal altamente libre puede ser el cemento preferido para la mezcla. Por ejemplo, en ciertas modalidades, el contenido de cal libre (CaO) del cemento utilizado en una mezcla de cemento particular, tal como mortero o concreto, se puede incrementar por la adición de CaO a la mezcla, generalmente antes de que la mezcla se exponga a dióxido de carbono, tal como por adición de 0.01-50%, o 0.01-10%, o 0.01-5%, o 0.01-3%, o 0.01-2%, o 0.01-1% de CaO, o 0.1-50%, o 0.1-10%, o 0.1-5%, o 0.1-3%, o 0.1-2% , o 0.1-1%, o 0.2-50%, o 0.2-10%, o 0.2-5%, o 0.2-3%, o 0.2-2% de CaO, o 0.2-1%, o 0.5-50%, o 0.5-10%, o 0.5-5%, o 0.5-3%, o 0.5-2% de CaO, o 0.5-1% de CaO bwc. Alternativamente, se puede añadir CaO de tal forma que el contenido de CaO total de la mezcla de cemento alcanza un nivel deseado, tal como 0.5-10%, o 0.5-5%, o 0.5-3%, o 0.5-2%, o 0.5-1.5%, o al menos 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0, 2.2, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10%, 20%, 30%, 40%, o 50% de CaO bwc. El CaO añadido también incrementará por lo general la tasa de absorción de dióxido de carbono por la mezcla durante la mezcla, permitiendo así una mayor absorción de dióxido de carbono durante un tiempo de exposición dado, o un menor tiempo de exposición para lograr un nivel dado de

absorción. Otros aceleradores de fijación incluyen, pero no se limitan a, una sal de nitrato de un metal alcalino, metal alcalinotérreo, o aluminio; una sal de nitrato de un metal alcalino, metal alcalinotérreo, o aluminio; un tiocianato de un metal alcalino, metal alcalinotérreo; o aluminio; una alcanolamina; un tiosulfato de un metal alcalino, metal alcalinotérreo, o aluminio; un hidróxido de un metal alcalino, metal alcalinotérreo, o aluminio; una sal de ácido carboxílico de un metal alcalino, metal alcalinotérreo, o aluminio (de manera preferente formiato de calcio); una polihidroxialquilamina; una sal de haluro de un metal alcalino, o metal alcalinotérreo, (por ejemplo, cloruro).

[000241] El aditivo o aditivos se pueden añadir a cualquier porcentaje final adecuado (bwc), tal como en el intervalo de 0.01-0.5%, o 0.01-0.3%, o 0.01-0.2%, o 0.01-0.1%, o 0.01-1.0%, o 0.01-0.05%, o 0.05% a 5%, o 0.05% a 1%, o 0.05% a 0.5%, o 0.1% a 1%, o 0.1% a 0.8%, o 0.1% a 0.7% por peso de cemento. El aditivo se puede añadir a un porcentaje final de más de 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, o 0.5%; en ciertos casos también menor que 5, 4, 3, 2, 1, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, 0.09, 0.08, 0.07, 0.06, 0.05, 0.04, 0.03, o 0.02%.

[000242] Se ha observado que la temporización de adición de un aditivo dado con respecto a la carbonatación de una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico puede modificar los efectos del aditivo en las propiedades de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, efectos sobre la fluidez o resistencia. Por ejemplo, en ciertos diseños de mezcla, la adición de gluconato de sodio después de la carbonatación restablece la fluidez a niveles deseados, pero puede afectar negativamente el desarrollo temprano de resistencia; mientras que la adición del gluconato de sodio antes de la carbonatación

mantiene el desarrollo temprano de resistencia pero no restablece de forma óptima la fluidez. Como otro ejemplo, en diseños de mezcla en los cuales se desea un agente inclusor de aire, se ha encontrado que si el agente inclusor de aire se añade antes de la carbonatación, se incrementa la densidad de la mezcla en comparación que si se añade el agente inclusor de aire después de la carbonatación. El aditivo o aditivos por lo tanto se pueden añadir antes, durante, o después de la carbonatación de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, o cualquier combinación de los mismos. Por ejemplo, en ciertas modalidades, el aditivo se añade después de la carbonatación; en otras modalidades, el aditivo se añade antes de la carbonatación; en aún otras modalidades, el aditivo se añade en dos dosis divididas, una antes de la carbonatación y una durante y/o después de la carbonatación. Será evidente que si se utiliza más de un aditivo, se puede añadir en un momento en tanto que el otro se añade en otro momento, por ejemplo, en una mezcla donde se utiliza un agente inclusor de aire y también se añade gluconato de sodio para afectar la fluidez, el gluconato de sodio se puede añadir en dosis divididas, una antes de la carbonatación y una durante/después de la carbonatación, y el agente inclusor de aire se puede añadir después de la carbonatación. Este último es sólo de ejemplo, y se puede utilizar cualquier combinación adecuada de aditivos y temporización para lograr el efecto o efectos deseados.

[000243] Se ha observado que los efectos de carbonatación y de los aditivos en la mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezclas de cemento hidráulico son altamente específicos de la mezcla. En algunos casos la carbonatación mejora realmente las propiedades de una mezcla, especialmente en situaciones de colado en seco donde la fluidez no es un

problema, y no se requiere ningún aditivo. En otros casos, especialmente en situaciones de colado en húmedo donde es un problema la fluidez, puede requerirse uno o más aditivos para restaurar una o más propiedades de la mezcla. Si se añade o no el aditivo, y/o la cantidad que se añade, a un lote dado se puede determinar al pre-probar la mezcla para determinar las propiedades de la mezcla carbonatada y los efectos de un aditivo dado. En algunos casos el aditivo y/o cantidad se pueden predecir con base en pruebas anteriores, o en propiedades del cemento utilizado en la mezcla, o de las consideraciones teóricas. Se ha encontrado que diferentes cementos tienen diferentes propiedades tras la carbonatación, y también reaccionan de forma diferente a un aditivo dado, y la invención incluye el uso de una colección de datos acerca de diversos tipos de cemento y aditivos para predecir una cantidad/aditivo deseado para un diseño de mezcla, que puede ser una mezcla que es la misma que o similar a una mezcla en la conexión, o una nueva mezcla cuyas propiedades se pueden predecir de la colección. Además, para un lote dado, se puede monitorizar la reología (fluidez) durante la carbonatación del lote y la temporización y/o cantidad exacta de aditivo añadido a este lote particular, o a lotes posteriores, se puede ajustar con base en la retroalimentación obtenida. Se puede utilizar una combinación del valor predicho para tipo de aditivo, temporización, y/o cantidad, y modificación del valor con base en mediciones en tiempo real en un lote o lotes dados.

[000244] En ciertas modalidades, un aditivo que comprende un carbohidrato o derivado de carbohidrato se añade a una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico antes, durante, y/o después de la carbonatación de la mezcla, o una combinación de los mismos. En ciertas modalidades, el aditivo se añade después de la carbonatación de la mezcla de cemento,

por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, o durante y después de la carbonatación. La carbonatación se puede lograr como se describe en la presente, por ejemplo, al administrar dióxido de carbono en la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante la mezcla. El carbohidrato o derivado puede ser cualquier carbohidrato como se describe en la presente, por ejemplo sacarosa, fructosa, glucoheptonato de sodio, o gluconato de sodio. En ciertas modalidades, el carbohidrato es gluconato de sodio. El carbohidrato o derivado, por ejemplo, gluconato de sodio se puede utilizar a una concentración adecuada; en algunos casos, la concentración es mayor que 0.01%, 0.015%, 0.02%, 0.025%, 0.03%, 0.035%, 0.04%, 0.05%, 0.06%, 0.07%, 0.08%, 0.09%, 0.1%, 0.15%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, o 0.5% bwc. La concentración también puede ser menor que 2, 1.5, 1, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, o 0.1%. Por ejemplo, en ciertas modalidades, el gluconato de sodio se utiliza como un aditivo a una dosis de entre 0.01 y 1% bwc, o entre 0.01 y 0.8%, o entre 0.01 y 0.5%, o entre 0.01 y 0.4% bwc, o entre 0.01 y 0.3%, o entre 0.01 y 0.2% bwc, o entre 0.01 y 0.1%, o entre 0.01 y 0.05%, o entre 0.03 y 1% bwc, o entre 0.03 y 0.8%, o entre 0.03 y 0.5%, o entre 0.03 y 0.4% bwc, o entre 0.03 y 0.3%, o entre 0.03 y 0.2% bwc, o entre 0.03 y 0.1%, o entre 0.03 y 0.08%, o entre 0.05 y 1% bwc, o entre 0.05 y 0.8%, o entre 0.05 y 0.5%, o entre 0.05 y 0.4% bwc, o entre 0.05 y 0.3%, o entre 0.05 y 0.2% bwc, o entre 0.05 y 0.1%, o entre 0.05 y 0.08%, o entre 0.1 y 1% bwc, o entre 0.1 y 0.8%, o entre 0.1 y 0.5%, o entre 0.1 y 0.4% bwc, o entre 0.1 y 0.3%, o entre 0.1 y 0.2% bwc. El gluconato de sodio se puede añadir antes, durante, o después de la carbonatación de la mezcla, o cualquier combinación de los mismos, y se puede añadir como una, dos, tres, cuatro, o más de cuatro dosis divididas. El carbohidrato o derivado se puede añadir en dos

o más dosis, tal como dosis antes de carbonatación y una dosis durante y/o después de la carbonatación. En ciertas modalidades, se utiliza estearato de calcio como un aditivo.

[000245] En ciertas modalidades, también se utiliza un segundo aditivo, tal como cualquiera de los aditivos descritos en la presente. En ciertas modalidades, el segundo aditivo es un acelerador de resistencia. En ciertas modalidades, también se utiliza un tercer aditivo, tal como cualquiera de los aditivos descritos en la presente. En ciertas modalidades, también se utiliza un cuarto aditivo, tal como cualquiera de los aditivos descritos en la presente.

[000246] En ciertas modalidades, se utiliza un aditivo que modula la formación de carbonato de calcio de tal forma que se favorece una o más formas polifórmicas en comparación con la mezcla sin el aditivo, por ejemplo, modula la formación de carbonato de calcio amorfo, por ejemplo, argonita, o calcita. Aditivos de ejemplo de este tipo incluyen polímeros orgánicos tal como poliacrilato y éter de policarbonato, ésteres de fosfato tal como hidroxiamino éster de fosfato, fosfonato y ácidos fosfónicos tal como nitrilotri (ácido metilfosfónico), ácido 2-fosfonobutano-1,2,4-tricarboxílico, agentes quelantes, tal como gluconato de sodio, ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), y ácido cítrico, o agentes tensoactivos, tal como estearato de calcio.

[000247] Se describen otros aditivos útiles en métodos y composiciones de la invención en la Patente de los Estados Unidos No. 7,735,274, incorporada por la presente como referencia en su totalidad.

B. Materiales cementosos complementarios y reemplazos de cemento

[000248] En ciertas modalidades, uno o más materiales cementosos complementarios (SCM) y/o reemplazos de cemento se añaden a la mezcla en la etapa apropiada para el SCM o

reemplazo de cemento particular. En ciertas modalidades, se utiliza un SCM. Se puede utilizar cualquier SCM o reemplazo de cemento adecuado; SCM de ejemplo incluyen escoria de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, puzolanas naturales (tal como metacaolín, pizarra calcinada, arcilla calcinada, vidrio volcánico, ceniza volcánica o tosca volcánica zeolíticas, ceniza de cáscara de arroz, tierra de diatomeas y pizarra calcinadas), y residuos de vidrio. Reemplazos de cementos adicionales incluyen caliza de relleno, plástico reciclado/residual, neumáticos de desecho, ceniza de residuos sólidos municipales, ceniza de madera, polvo de horno de cemento, arena de fundición y similares. En ciertas modalidades, un SCM y/o reemplazo de cemento se añade a la mezcla en una cantidad para proporcionar 0.1-50%, o 1-50%, o 5-50%, o 10-50%, 0 20-50%, o 1-40%, o 5-40%, o 10-50%, o 20-40% bwc. En ciertas modalidades, un SCM se utiliza y el SCM es ceniza volante, escoria, humo de sílice, o una puzolana natural. En ciertas modalidades, el SCM es ceniza volante. En ciertas modalidades, el SCM es escoria.

[000249] Es bien conocido que la adhesión de un SCM tal como ceniza volante o escoria a una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de concreto, puede retardar el desarrollo temprano de resistencia; en realidad, cuando el clima se vuelve suficientemente frío, el uso de SCM en mezclas se reduce debido a que el desarrollo temprano de resistencia se retarda de forma suficiente en cuanto a que se hace problemático el uso de la mezcla. Además, la cantidad máxima de SCM que se puede añadir a una mezcla se puede limitar por su efecto en el desarrollo temprano de resistencia. Los presentes inventores han encontrado que incluso dosis muy pequeñas de dióxido de carbono, cuando se añade una mezcla de concreto que contiene SCM, puede acelerar el desarrollo temprano de resistencia y por lo tanto puede permitir que

estas mezclas se utilicen bajo circunstancias donde de otra forma no se pueden utilizar, por ejemplo, en clima frío, o en cantidades mayores, extendiendo de esta forma la utilidad de estas mezclas, tal como extendiendo la temporada útil para estas mezclas, o incrementando la proporción de SCM en una mezcla dada, o ambos.

[000250] En ciertas modalidades la invención proporciona métodos y composiciones para ampliar el intervalo de condiciones bajo las cuales se puede utilizar un SCM en una mezcla de concreto al carbonatar la mezcla. El intervalo de condiciones puede incluir la temperatura en la cual se puede utilizar la mezcla que contiene SCM, o la cantidad de SCM que se puede añadir en tanto que se mantiene desarrollo temprano de resistencia, adecuado, o la resistencia temprana para una cantidad dada de SCM en una mezcla.

[000251] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para disminuir la temperatura mínima a la cual se puede utilizar una mezcla de SCM-concreto, incrementando así el intervalo de temperatura aceptable, general para la mezcla de SCM-concreto, al exponer la mezcla de SCM-concreto a una dosis de dióxido de carbono suficiente para modular, por ejemplo, acelerar, el desarrollo temprano de resistencia y/o fijación de la mezcla a un nivel en el cual se puede utilizar la mezcla a una temperatura por debajo de aquella que se habría utilizado sin la exposición a dióxido de carbono. La dosis puede ser de tal forma que el desarrollo temprano de resistencia de la mezcla permite su uso de una forma deseada a una temperatura que es al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 o 10°C por debajo de la temperatura en la cual se puede utilizar sin el tratamiento de dióxido de carbono y/o no más de 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, o 12°C por debajo de la temperatura a la cual se puede utilizar sin el tratamiento de dióxido de carbono. La dosis de dióxido de carbono añadida a

la mezcla para lograr el incremento deseado en el desarrollo temprano de resistencia puede ser no más de 2.0, 1.5, 1.2, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, o 0.05% de dióxido de carbono bwc. La dosis puede ser de tal forma que el desarrollo temprano de resistencia de la mezcla, por ejemplo, la resistencia en 8, 12, 16, 20, o 24 horas, o cualquier otro punto de tiempo adecuado para desarrollo temprano de resistencia, es, en promedio, al menos 1, 2, 5, 7, 10, 12, 15, 20, o 25% mayor que la resistencia sin la dosis de dióxido de carbono, y es suficiente para el uso para el cual se propone la mezcla. En ciertas modalidades, un marcador alternativo adicional diferente del desarrollo temprano de resistencia, tal como un valor de calorimetría como se describe en otra parte en la presente, se puede utilizar en lugar de o además de mediciones de resistencia temprana, por ejemplo, para determinar la dosis deseada u óptima de dióxido de carbono y/o condiciones de dosificación. El dióxido de carbono se puede administrar como una sola dosis o múltiples dosis, y a cualquier velocidad adecuada o en cualquier forma adecuada, como se describe en otra parte en la presente. El SCM puede ser cualquier SCM. En ciertas modalidades, el SCM es ceniza volante. En ciertas modalidades, el SCM es escoria. En ciertas modalidades, la mezcla de SCM-concreto se administra a un sitio de trabajo en un camión de mezcla final, y el dióxido de carbono se aplica a la mezcla en el sitio de procesamiento por lotes, en ruta al sitio de trabajo, o en el sitio de trabajo, o cualquier combinación de los mismos. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono es dióxido de carbono gaseoso. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se disuelve en agua de mezcla. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono es dióxido de carbono sólido. En ciertas modalidades, se utiliza una combinación de dióxido de carbono gaseoso y dióxido de

carbono disuelto en agua de mezcla.

[000252] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para incrementar la cantidad máxima (proporción) de SCM que se puede utilizar en una mezcla de SCM-concreto, incrementando así el intervalo total aceptable de cantidades (proporciones de SCM para la mezcla de SCM-concreto, al exponer una mezcla de SCM-concreto que contiene una proporción de SCM que normalmente sería mayor que la proporción aceptable debido a efectos en el desarrollo temprano de resistencia, a una dosis de dióxido de carbono suficiente para modular, por ejemplo, acelerar, desarrollo temprano de resistencia de la mezcla a un nivel en el cual se puede utilizar la mezcla para sus propósitos normales. En ciertas modalidades, la proporción máxima aceptable de SCM en la mezcla se incrementa por carbonatación por al menos 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20% bwc y/o no más de 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, o 25% bwc, con respecto a la máxima proporción aceptable de SCM sin carbonatación. La dosis de dióxido de carbono a la mezcla puede ser no más de 2.0, 1.5, 1.2, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, o 0.05% de dióxido de carbono bwc, y/o no menos de 2.5, 2.0, 1.5, 1.2, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, o 0.1% de dióxido de carbono bwc. El SCM puede comprender al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, o 30% de la mezcla, y/o no menos de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, 30, 40, o 50% de la mezcla. La dosis puede ser de tal forma que el desarrollo temprano de resistencia de la mezcla, por ejemplo, la resistencia en 8, 12, 16, 20, o 24 horas, o cualquier otro punto de tiempo adecuado para desarrollo temprano de resistencia, es, en promedio, al menos 1, 2, 5, 7, 10, 12, 15, 20, o 25% mayor que la resistencia sin la

dosis de dióxido de carbono. En ciertas modalidades, un marcador alternativo adicional diferente del desarrollo temprano de resistencia, tal como un valor de calorimetría como se describe en otra parte en la presente, se puede utilizar en lugar de o además de mediciones de resistencia temprana, por ejemplo, para determinar la dosis óptima o deseada de dióxido de carbono y/o condiciones de dosificación. El dióxido de carbono se puede administrar como una sola dosis o múltiples dosis, y a cualquier velocidad adecuada o en cualquier forma adecuada, como se describe en otra parte en la presente. El SCM puede ser cualquier SCM. En ciertas modalidades, el SCM es ceniza volante. En ciertas modalidades, el SCM es escoria. En ciertas modalidades, la mezcla de SCM-concreto se administra a un sitio de trabajo en un camión de mezcla final, y el dióxido de carbono se aplica a la mezcla en el sitio de procesamiento por lotes, en ruta al sitio de trabajo, o en el sitio de trabajo, o cualquier combinación de los mismos. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono es dióxido de carbono gaseoso. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se disuelve en agua de mezcla. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono es dióxido de carbono sólido. En ciertas modalidades, se usa una combinación de dióxido de carbono gaseoso y dióxido de carbono disuelto en agua de mezcla.

[000253] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para acelerar el desarrollo temprano de resistencia de una mezcla de SCM-concreto, acelerando por lo tanto aspectos de un trabajo en el cual se utiliza la mezcla de SCM-concreto que requiere una cierta resistencia antes de que se pueda dar el siguiente paso (tal como remoción de moldes, adición de un nivel de concreto, y similares), al exponer la mezcla de SCM-concreto a una dosis de dióxido de carbono suficiente para modular, por ejemplo, acelerar, desarrollo temprano de

resistencia de la mezcla a un nivel en el cual se puede acelerar el aspecto del trabajo. La dosis de dióxido de carbono a la mezcla puede ser no más de 2.0, 1.5, 1.2, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, o 0.05% de dióxido de carbono bwc, y/o no menos de 2.5, 2.0, 1.5, 1.2, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, o 0.1% de dióxido de carbono bwc. La dosis puede ser de tal forma que el desarrollo temprano de resistencia de la mezcla, por ejemplo, la resistencia en 8, 12, 16, 20, o 24 horas, o cualquier otro punto de tiempo adecuado para desarrollo temprano de resistencia, es, en promedio, al menos 1, 2, 5, 7, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, o 40% mayor que las resistencias sin la dosis de dióxido de carbono. El SCM puede comprender al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 20, o 30% de la mezcla, y/o no menos de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, 30, 40, o 50% de la mezcla. En ciertas modalidades, un marcador alternativo adicional diferente del desarrollo temprano de resistencia, tal como un valor de calorimetría como se describe en otra parte en la presente, se puede utilizar en lugar de o además de mediciones de resistencia temprana, por ejemplo, para determinar la dosis óptima o deseada de dióxido de carbono y/o condiciones de dosificación. El dióxido de carbono se puede administrar como una sola dosis o múltiples dosis, y a cualquier velocidad adecuada o en cualquier forma adecuada, como se describe en otra parte en la presente. El SCM puede ser cualquier SCM adecuado. En ciertas modalidades, el SCM es ceniza volante. En ciertas modalidades, el SCM es escoria. En ciertas modalidades, la mezcla de SCM-concreto se administra a un sitio de trabajo en un camión de mezcla final, y el dióxido de carbono se aplica a la mezcla en el sitio de procesamiento por lotes, en ruta al sitio de trabajo, o en el sitio de trabajo, o cualquier combinación de los mismos. En ciertas

modalidades, el dióxido de carbono es dióxido de carbono gaseoso. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono se disuelve en agua de mezcla. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono es dióxido de carbono sólido. En ciertas modalidades, se utiliza una combinación de dióxido de carbono gaseoso y dióxido de carbono disuelto en agua de mezcla.

C. Mecanismos de control

[000254] Los métodos y aparatos descritos en la presente pueden incluir uno o más mecanismos de control, por ejemplo, mecanismos de control automáticos, para modular uno o más aspectos de la mezcla y operación de carbonatación, tal como para modular el contacto de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con dióxido de carbono y/u otros componentes, tal como uno o más aditivos o agua, así como otros aspectos de la operación de la mezcladora, tal como requerimientos de seguridad de trabajadores, enfriamiento de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, y similares. Se apreciará que la modulación se puede lograr por operadores humanos quienes controlan las válvulas necesarias y similares para lograr una exposición a dióxido de carbono deseada y/u otra característica de la mezcla de cemento carbonatada, pero en general se emplean mecanismos de control automáticos. El control puede estar basado en cualquier parámetro adecuado, tal como retroalimentación con respecto a una o más características de la operación de mezcla, temporización, que puede ser una temporización predeterminada, o una combinación de las mismas.

[000255] Los mecanismos y sistemas de control pueden aplicarse a una mezcladora estacionaria en una planta de concreto precolado u otra instalación de mezcla central. Alternativamente, puede aplicarse a un camión de concreto de mezcla final que facilita la mezcla a través de rotación de

su tambor. La operación de mezcla puede ser una operación de mezcla húmeda o mezcla seca; por ejemplo, el camión de concreto de mezcla final será un colado en húmedo, en tanto que el precolado puede ser colado en húmedo o colado en seco.

[000256] Una forma simple de control se basa en temporización por separado. Por lo tanto, en ciertas modalidades, los métodos incluyen modular el flujo del dióxido de carbono a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico de acuerdo con una cierta temporización. La temporización se puede controlar por un controlador que se conecta a una mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento y que detecta cuando el aparato ha comenzado o ha detenido una etapa de operación, y que modula el flujo de dióxido de carbono en consecuencia, por ejemplo, inicio detiene el flujo. Por lo tanto en ciertas modalidades, el flujo de dióxido de carbono comienza cuando uno o más componentes de una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se han depositado en una mezcladora, continúa durante un cierto tiempo predeterminado a una cierta velocidad de flujo predeterminada, entonces se detiene. La etapa de operación de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico se puede determinar por la programación del controlador u otro controlador al cual está conectado operativamente el controlador, o se puede determinar por uno o más sensores que monitorizan posiciones de componentes del aparato, flujo, y similares, o una combinación de los mismos.

[000257] Convencionalmente, sin embargo, mecanismos y sistemas de control de la invención incluyen mecanismos de retroalimentación donde una o más características de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico y/o aparato o su entorno se monitoriza por uno o más sensores, que transmiten la información a un controlador que

determina si uno o más parámetros de la operación de mezcla requiere modulación y, si es así, envía la salida apropiada a uno o más accionadores para llevar a cabo la modulación requerida. El controlador puede aprender de las condiciones de un lote para ajustar la programación para lotes posteriores de características de mezcla similares o iguales para optimizar eficiencia y características deseadas de la mezcla.

[000258] A fin de lograr una eficiencia deseada de absorción de dióxido de carbono en la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, para asegurar características deseadas tal como características de flujo, resistencia, y apariencia, y/o para asegurar la seguridad de los trabajadores, diferentes aspectos de la operación de mezcla, la mezcladora, la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, y el entorno de la mezcladora se pueden monitorizar, la información de la monitorización procesada, y los ajustes realizados en un o más aspectos de la operación de mezcla a fin de lograr el resultado deseado. Por lo tanto, en ciertas modalidades, uno o más sensores se pueden utilizar para proporcionar entrada a un controlador en cuanto a diferentes condiciones relacionadas a las características deseadas; el controlador procesa las entradas y las compara con parámetros predeterminados de operación y, si son necesarias correcciones en el proceso, el controlador entonces envía salida a uno o más accionadores a fin de llevar al sistema hacia la condición deseada.

[000259] En modalidades particulares, la invención proporciona sistemas de control para controlar la carbonatación de una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en una mezcladora por uso de uno o más sensores que monitorizan uno o más del peso del cemento utilizado en la mezcla, concentración de dióxido de carbono

de la atmósfera dentro y/o fuera de la mezcladora, a temperatura de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico o un componente en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, reología de la mezcla, y/o contenido de humedad de la mezcla, donde el uno o más sensores envían entrada a un controlador que procesa la información recibida del uno o más sensores al comparar la entrada con uno o más parámetros predeterminados y, si es necesario, envía salida a uno o más accionadores para ajustar la velocidad de flujo de dióxido de carbono, adición de agua, o adición de aditivo, o para llevar a cabo otras funciones tal como hacer sonar una alarma si los niveles de dióxido de carbono exceden niveles seguros. Además, ciertas operaciones, tal como enfriamiento de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, se pueden llevar a cabo después de que se complete la mezcla. El controlador puede aprender a de un lote para ajustar condiciones para un lote posterior de la misma composición o composición similar. Se pueden utilizar niveles de control adicionales, tal como un controlador central que recibe información de una pluralidad de operaciones de mezcla en una pluralidad de ubicaciones con respecto a uno o más aspectos de cada operación, y procesa la información recibida de todas las operaciones de mezcla para mejorar el desempeño en las diferentes operaciones; por lo tanto, se pueden utilizar grandes cantidades de información para mejorar el rendimiento en una variedad de sitios.

[000260] En la operación de mezcla, componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, cemento, agregado, y agua, se añaden a la mezcladora, y comienza la mezcla. En algunos casos algunos componentes, tal como agregado, pueden tener un contenido de agua suficiente, por ejemplo, exposición a condiciones

climáticas húmedas, que no se añade agua adicional antes de que comience la mezcla. En algunos casos, como se describe en otra parte en la presente, se puede añadir agua u otros componentes de una forma por etapas. En algún punto antes, durante, o después del proceso de adición de componentes o mezcla, se inicia el flujo de dióxido de carbono de una fuente de dióxido de carbono a la mezcladora. En algunos casos, parte de o todo el dióxido de carbono estará incluido en el agua de mezcla. En algunos casos, el flujo de dióxido de carbono será gaseoso; en otros casos, el flujo de dióxido de carbono comprende una mezcla de dióxido de carbono gaseoso y sólido. Componentes adicionales, tal como aditivos, se pueden añadir a la mezcla de cemento, por ejemplo mezcla de cemento hidráulico así como en cualquier punto en la operación. El dióxido de carbono se sub-sume en la mezcla de mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico y comienza a reaccionar con los componentes de la mezcla; cualquier dióxido de carbono que no se absorbe por la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico rellena el espacio de cabeza del contenedor de mezcla. Ya que las mezcladoras convencionales no son herméticas, si la velocidad de flujo de dióxido de carbono a la mezcladora excede la tasa de absorción en la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, en algún punto el espacio de cabeza de la mezcladora se llenará de dióxido de carbono y el exceso de dióxido de carbono saldrá de la mezcladora de uno o más puntos de fuga. Por lo tanto, el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera dentro de la mezcladora o, de manera más preferente, fuera de la mezcladora, por ejemplo el uno o más puntos de fuga, se puede monitorizar para proporcionar una indicación de que la velocidad de adición de dióxido de carbono excede la tasa de absorción de dióxido de carbono. Además, también se pueden monitorizar niveles de dióxido de

carbono en áreas donde es probable que estén los trabajadores como una precaución de seguridad. La reacción de dióxido de carbono con el cemento hidráulico es exotérmica, por lo tanto la temperatura de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se eleva; la velocidad de aumento de temperatura es proporcional a la tasa de absorción de dióxido de carbono y el aumento de temperatura total es proporcional a la absorción de dióxido de carbono total para un diseño de mezcla dado. Por lo tanto, la temperatura de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, o la temperatura de una o más porciones del contenedor de mezcla u otro equipo que esté en contacto con la mezcla, se pueden monitorizar como una indicación de la velocidad y grado de absorción de dióxido de carbono en la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. La carbonatación de componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico puede producir un cambio en las características de flujo, es decir, reología, de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, que puede ser indeseable en ciertas aplicaciones, por ejemplo, en aplicaciones de colado en húmedo tal como en un camión de mezcla final. Por lo tanto, la reología de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se puede monitorizar. Además, la carbonatación puede afectar las características de humedad de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que puede conducir a características indeseables, y también se puede monitorizar el contenido de humedad de la mezcla.

[000261] La invención también proporciona una red de sistemas de mezcla con uno o más sensores y, opcionalmente, controladores, que incluyen una pluralidad de sistemas de mezcla, tal como 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, o más de 10 sistemas de mezcla con uno o más sensores, y, opcionalmente,

controladores, cada uno de los cuales transmite datos de sus ubicaciones respectivas y condiciones de mezcla a un controlador central, que aprende de los datos generales de todos los sistemas de mezcla y proporciona instrucciones de mezcla actualizadas y modificadas a los diferentes sistemas de mezcla en la red con base en esta información. De esta forma se puede optimizar la operación de cada sistema de mezcla individual dentro de la red con base en información de todos los otros sistemas de mezcla en la red. Por lo tanto, la temporización y grado de administración de dióxido de carbono, tipo de aditivo y cantidad, cantidad de agua y temporización y administración, y otros factores se pueden optimizar para un sitio antes de que incluso haya comenzado su primer lote, con base en información histórica de otros sitios, y todos los sitios pueden someterse a mejora continua en optimización conforme los sensores, y, opcionalmente, controladores en la red obtienen continuamente más información y la alimentan al controlador central.

[000262] Por lo tanto, en ciertas modalidades los métodos y/o aparatos pueden incluir mecanismos de retroalimentación por los cuales una o más características del tipo de aparato mezclador, mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico y dentro o fuera de la mezcladora, un componente de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de producción de mezcla de cemento hidráulico, o componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, o el entorno de la mezcladora, se monitoriza y la información se utiliza para modular la exposición de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico a dióxido de carbono, uno o más aditivos, agua u otros componentes, en la mezcla actual y/o en mezclas posteriores. Las características

tal como contenido de dióxido de carbono monitorizado dentro y/o fuera de la mezcladora, y/o temperatura de la mezcla monitorizada dentro de la mezcladora o fuera de la mezcladora, de un componente en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, una superficie de la mezcladora tal como la superficie externa de la mezcladora, y/o posición o estado de operación de un componente de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de producción de mezcla de cemento hidráulico, se pueden utilizar para determinar cuándo se debe modular la adición de dióxido de carbono, por ejemplo, para iniciar o detener o lentificar la adición de dióxido de carbono. También se puede realizar cierta monitorización de seguridad, por ejemplo, monitorización de áreas fuera de la mezcladora para niveles de dióxido de carbono para asegurar la seguridad de los trabajadores.

[000263] En general, los sistemas de retroalimentación incluyen uno o más sensores para monitorizar una o más características y enviar entrada a un controlador, que recibe la entrada de los sensores, la procesa, y, si es necesario, envía salida, con base en el procesamiento, a uno o más accionadores que se configuran para modificar algún aspecto de la exposición de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico a dióxido de carbono, agua, aditivo, o algún otro aspecto de la operación de mezcla, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico. En el caso más simple, un operador humano puede comenzar manualmente la exposición a dióxido de carbono al ajustar una válvula, entonces puede monitorizar una característica al utilizar uno o más sensores, por ejemplo, un sensor de temperatura portátil que se apunta al tambor de un camión de mezcla final, y/o un temporizador simple, y detener el suministro de gas de dióxido de carbono cuando se alcanza una cierta

temperatura o un cierto tiempo. Sin embargo, se utilizan en general mecanismos de retroalimentación automática.

Sensores

[000264] Sensores adecuados para uso en sistemas de control incluyen sensores de temperatura, sensores de dióxido de carbono, sensores de reología, sensores de peso (por ejemplo, para monitorizar el peso exacto de cemento utilizado en un lote particular), sensores de humedad, u otros sensores de gas tal como sensores de oxígeno, sensores de pH, y otros sensores para monitorizar una o más características de una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, un componente de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de producción de mezcla de cemento hidráulico, un componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, o algún otro aspecto de la operación de mezcla. Sensores también incluyen sensores que monitorizan un componente de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, tal como sensores que detectan cuándo ha comenzado la mezcla, cuándo componentes de una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se han añadido a una mezcladora, sensores de flujo de masa, velocidad de flujo o medidor de presión en el conducto, u otros sensores adecuados.

[000265] Sensor de báscula de cemento

[000266] Un sensor de báscula de cemento se puede utilizar para transmitir información al controlador con respecto a la masa del cemento que estará en una mezcla dada en la mezcladora. Ya que el CO_2 se dosifica en proporción a la masa de cemento, este peso es importante para determinar la dosis correcta para lograr los resultados deseados. La masa de cemento también se utiliza para pesar el tamaño de un lote dado, dado que una mezcla puede variar con respecto a un

tamaño por defecto tal como un lote completo (100%) o un cuarto de lote (25%), o cualquier otro tamaño de lote. En algunos casos el lote puede incluso exceder el 100%. Este tamaño de lote también se puede utilizar para determinar el espacio de cabeza (libre) en la mezcladora de tal forma que se puede rellenar rápidamente con CO_2 sin crear una sobrepresión al administrar más del espacio de cabeza de lo que se permite. Una vez que esté lleno el espacio de cabeza, se puede reducir la velocidad de flujo para igualar la tasa de absorción del cemento.

[000267] Sensores de dióxido de carbono

[000268] Se pueden utilizar uno o más sensores de CO_2 para reducir al mínimo el desperdicio, es decir, para incrementar la eficiencia de absorción de dióxido de carbono, y/o para asegurar la seguridad de los trabajadores. Los sensores de CO_2 funcionan al medir el contenido de CO_2 del aire alrededor del exterior de la mezcladora y/o interior de la mezcladora. Alternativamente, o además, se pueden ubicar uno o más sensores dentro de la mezcladora para detectar el contenido de dióxido de carbono de gas en la mezcladora y enviar una señal a un controlador. Los sensores pueden ser cualquier sensor capaz de monitorizar la concentración de dióxido de carbono en un gas y que transmiten una señal al controlador con base en la concentración, y se pueden ubicar en cualquier ubicación o ubicaciones convenientes dentro o fuera de la mezcladora; si están dentro, de manera preferente en una ubicación de tal forma que el sensor no se somete a la incrustación por la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico conforme se mezcla o se vacía. Además de, o en lugar de, los sensores de dióxido de carbono dentro de la mezcladora, se pueden ubicar uno o más de estos sensores fuera de la mezcladora para detectar el contenido de dióxido de carbono del gas de desbordamiento que escapa de la

mezcladora y enviar una señal a un controlador. En cualquier caso, un cierto intervalo o intervalos, o un valor de corte, para el contenido de dióxido de carbono se pueden ajustar, y después de que el contenido de dióxido de carbono de la mezcladora y/o gas de desbordamiento alcanza el intervalo deseado, o sube por encima del umbral deseado, se puede modular la administración de dióxido de carbono, o algún otro aspecto de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico por una señal o señales del controlador a un accionador o accionadores. Por ejemplo, en ciertas modalidades se puede ubicar un sensor de dióxido de carbono fuera de la mezcladora o cuando el contenido de dióxido de carbono del gas de desbordamiento alcanza un cierto umbral, tal como una concentración de dióxido de carbono que indica que la mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se satura con dióxido de carbono, se detiene la administración de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, dentro de la mezcladora o se lentifica por el cierre de una válvula, parcialmente o completamente, en el conducto de la fuente de dióxido de carbono a la mezcladora.

[000269] En particular, para reducir al mínimo el desperdicio, se pueden colocar uno o más sensores en las áreas donde es más probable que se presenten fugas (por ejemplo, alrededor de puertas, etc.). El sensor o sensores se pueden colocar de tal forma que es más probable que la fuga de dióxido de carbono pase en su vecindad, por ejemplo, ya que el dióxido de carbono es más denso que el aire, el posicionamiento por debajo de un punto de fuga probable es más deseable que el posicionamiento por encima de un punto de fuga probable. Cuando se administra el gas a una velocidad mucho mayor que la capacidad del cemento para absorber el CO_2

es más probable que se derrame fuera de la mezcladora en un punto de fuga y se detecte por un sensor de gas. Las fugas serían un evento que se presenta de forma normal cuando hay demasiado gas administrado a la mezcladora dado que la mezcladora no es completamente hermética de acuerdo con la naturaleza de la máquina. Se presentaría una fuga de CO_2 cuando el CO_2 se ha administrado demasiado rápido. Dado que el CO_2 es más pesado que el aire, en general, habría una cierta cantidad de CO_2 que se puede administrar a la mezcladora en donde el gas de CO_2 entrante desplazaría el aire que inicialmente estaba en la mezcladora. Una vez que se ha desplazado el aire una administración de gas adicional desplazaría el dióxido de carbono previamente administrado o de otra forma se derramaría inmediatamente de la mezcladora. Los sensores que se alimentan en un sistema lógico de dosificación de manera preferente se colocarían en ubicaciones inmediatamente al lado de los puntos de fuga de mezcladora. Si el uno o más sensores leen que el contenido de CO_2 en la vecindad excede un nivel umbral prestablecido (por ejemplo una referencia definida), el sistema ajustaría la velocidad de flujo de CO_2 y/o tiempo de administración, por ejemplo, para disminuir o eliminar desbordamiento adicional en el lote actual o para eliminar el desbordamiento en un ciclo de mezcla a futuro. La lógica para coordinar una velocidad de relleno del espacio de mezcladora que es proporcional a la tasa de absorción de dióxido de carbono por el cemento.

[000270] Para la seguridad de los trabajadores, si una administración de dióxido de carbono provoca que la concentración de dióxido de carbono en las áreas alrededor de la mezcladora a las cuales los trabajadores acceden de forma normal, excede un valor máximo (tal como indicado por OSHA, el controlador puede indicar un apagado de sistema en donde

se pueden cerrar todas las válvulas y, convencionalmente, se puede hacer sonar una alarma como una medida de seguridad. Los sensores que se alimentan a un sistema de seguridad se pueden colocar en diferentes distancias de la mezcladora dependiendo de los requerimientos de proximidad para los trabajadores a la mezcladora.

[000271] Sensores de temperatura

[000272] Se pueden utilizar uno o más sensores para monitorizar la temperatura de la mezcla dentro o fuera de la mezcladora y/o de un componente en contacto con la mezcla de mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico y/o de la mezcladora, que es indicativa de carbonatación y/u otras reacciones debido a la adición del dióxido de carbono, y adición de dióxido de carbono modulada con base en esta temperatura o temperaturas monitorizadas por los sensores. Se pueden colocar uno o más sensores de temperatura para monitorizar la temperatura de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, dentro de la mezcladora, o en un sitio distal a la mezcladora tal como un sitio de almacenamiento o sitio de transporte para la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. Este sitio puede ser, por ejemplo, una caja de alimentación para una operación de precolado, o una cinta u otro modo de transporte, o una carretilla u otro sitio para transportar o almacenar concreto de un camión de mezcla final. Se pueden colocar uno o más sensores de temperatura para monitorizar la temperatura de un componente que está en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, el tambor de una mezcladora. Se puede utilizar cualquier sensor de temperatura adecuado. Por ejemplo, se puede utilizar un sensor de temperatura infrarrojo, tal como un sensor montado o portátil, para monitorizar la temperatura del tambor de un camión de mezcla final al cual se añade

dióxido de carbono, y cuando se alcanza una cierta temperatura o se logra un intervalo de temperaturas, se puede modular la adición del dióxido de carbono dentro del tambor.

[000273] La temperatura o intervalo de temperaturas a las cuales se modula la exposición a dióxido de carbono puede ser una temperatura o intervalo predeterminado, con base en una temperatura que se conoce que está asociada con una o más características indeseables, por ejemplo, intensidad reducida, pérdida de trabajabilidad, desempeño pobre de compactabilidad, endurecimiento en la mezcladora, etc. En algunos casos puede ser un intervalo o temperatura absoluta. De manera más preferente, es una temperatura o intervalo que se determina con referencia a una temperatura inicial, tal como a una temperatura inicial de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico o un componente en contacto con la mezcla antes de la adición de dióxido de carbono. En ciertas modalidades, la temperatura o intervalo está al menos 10, 15, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 29, 30, 35, 40, 45, o 50°C por encima de la temperatura inicial, o 10-50, 10-40, 10-30°C por debajo de la temperatura inicial, y con ese intervalo se puede establecer un umbral, que puede variar de lote a lote dependiendo de la carbonatación deseada de la mezcla de concreto u otras características. En ciertos casos, por ejemplo, donde se utilizan materiales de partida calientes, la temperatura se mantiene sin cambios de la temperatura de inicio, o se mantiene dentro de 0-5°C de la temperatura de inicio. En algún caso, se ajusta una temperatura máxima absoluta y el sistema de control se configura para mantener la mezcla por debajo de la temperatura máxima. El sensor también se puede utilizar para monitorizar la velocidad de aumento de temperatura y el controlador puede ajustar la velocidad de flujo y/o tiempo de administración si la velocidad es

demasiado alta o demasiado baja. Los datos de prueba indican que, para un flujo constante, la absorción de carbono es proporcional al incremento de temperatura detectado inmediatamente después de la carbonatación para una mezcla dada. Se puede utilizar una medición de temperatura ***in situ*** para modelar la absorción de dióxido de carbono total, en tiempo real de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con respecto a datos de calibración previamente recolectados.

[000274] Sensores de reología

[000275] En una operación en la cual es importante la fluidez del cemento, por ejemplo, una operación de colado en húmedo, se pueden utilizar uno o más sensores de reología. Un reómetro se puede montar dentro de la mezcladora para medir la trabajabilidad de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. El CO_2 puede reducir la trabajabilidad de la mezcla de cemento fresco, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, y el reómetro se puede utilizar para monitorizar la pérdida de trabajabilidad. En un cierto umbral mínimo, prestablecido de trabajabilidad, se pueden activar una o más acciones, tal como modulación de la velocidad de flujo de CO_2 a la mezcladora, adición de aditivo, y/o adición de agua adicional, para restaurar la trabajabilidad a un nivel deseado. Un reómetro también puede monitorizar la trabajabilidad del concreto en un camión de concreto de mezcla final en tanto que está en tránsito y ajusta dosis de CO_2/aditivo en mezclas posteriores producidas en la planta de procesamiento por lotes, o incluso ajusta una dosis de aditivo administrada en el propio camión de tambor.

[000276] Sensores de humedad

[000277] Se pueden utilizar uno o más sensores de humedad. El sensor de humedad se utiliza para monitorizar la humedad en la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento

hidráulico durante el ciclo de mezcla. Conforme se absorbe CO_2 por la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, se puede reducir la humedad aparente y da por resultado un producto de apariencia más seca. Por lo tanto puede ser necesario incrementar la humedad de la mezcla para mantener la apariencia deseada del producto. Si la humedad alcanza un valor umbral mínimo, el CO_2 se puede modular, por ejemplo, reducir o detener por lo que la mezcla no se libera en una condición seca inaceptable. El sensor también monitoriza la disminución de humedad con respecto a la absorción de CO_2 y puede ajustar la velocidad de flujo y/o tiempo de administración si la velocidad se hace muy alta o muy baja. El sensor de humedad también puede activar la adición de agua de mezcla complementaria en cualquier punto en el proceso de mezcla. Además, uno o más sensores de humedad se pueden utilizar para determinar el contenido de humedad de uno o más componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico antes de que se mezclen los componentes; por ejemplo, se puede utilizar un sensor de humedad para determinar el contenido de humedad del agregado, que puede estar expuesto a condiciones climáticas que conducen a recolección de agua. En el caso de una operación donde el dióxido de carbono se añade a través de agua de mezcla así como por gas o líquido, esta información se puede utilizar para ajustar la cantidad relativa de dióxido de carbono añadido por gas o líquido, para compensar el hecho de que se utilizará menos agua de mezcla debido al contenido de humedad del agregado.

[000278] Otros sensores

[000279] Uno o más sensores pueden monitorizar condiciones de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico y enviar una señal a un controlador. Por ejemplo, uno o más sensores pueden monitorizar cuando todos

los componentes deseados de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico están en la mezcladora y se mezclan, y el controlador puede enviar una señal a un accionador, tal como una válvula controlable, para comenzar el flujo de dióxido de carbono. El flujo de dióxido de carbono puede continuar durante un tiempo predeterminado, o se puede modular de acuerdo con retroalimentación adicional, tal como se describe anteriormente.

[000280] Se puede monitorizar otras condiciones, también, tal como condiciones de presión en una o más líneas; por ejemplo, en un sistema donde se administra dióxido de carbono líquido a la mezcladora, se pueden emplear sensores para controlar formación de hielo seco entre la boquilla y solenoide así como para confirmar que se mantiene la presión de pre-solenoide para asegurar que la línea permanezca líquida.

[000281] Cualquier combinación de uno o más sensores dentro o fuera de la mezcladora, y/o dentro o fuera de la mezcla, se puede utilizar para monitorizar peso de aglutinante de cemento, ubicación de aglutinante de cemento, contenido de dióxido de carbono, temperatura, reología, contenido de humedad, pH, otras características, o una combinación de los mismos, y lazos de retroalimentación para modular la adición de dióxido de carbono con base en la información provista por estos sensores se pueden utilizar; estos lazos pueden incluir ajustes automáticos o manuales, o ambos. En ciertas modalidades, los sensores monitorizan el tiempo de adición de aglutinante de cemento y/o tiempo de operación de sistema recolector de polvo, ya que en algunas mezcladoras se ejecuta un ventilador después de que entran los polvos para impedir polvo excesivo, y éstos se deben apagar de tal forma que no se remueve el dióxido de carbono añadido durante este tiempo.

[000282] Por lo tanto, en ciertas modalidades la invención

proporciona un método o aparato para producir mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que incluye un sistema de control que incluye al menos un sensor seleccionado del grupo que consiste de un sensor de dióxido de carbono, un sensor de temperatura, un sensor de reología, y un sensor de humedad. En ciertas modalidades la invención proporciona un método o aparato para producir mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que incluye un sistema de control que incluye al menos dos sensores seleccionados del grupo que consiste de un sensor de dióxido de carbono, un sensor de temperatura, un sensor de reología, y un sensor de humedad. En ciertas modalidades la invención proporciona un método o aparato para producir mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que incluye un sistema de control que incluye al menos tres sensores seleccionados del grupo que consiste de sensor de dióxido de carbono, un sensor de temperatura, un sensor de reología, y un sensor de humedad. En ciertas modalidades la invención proporciona un aparato para producir mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que incluye un sistema de control que incluye un sensor de dióxido de carbono, un sensor de temperatura, un sensor de reología, y un sensor de humedad. Los métodos y aparatos pueden incluir además uno o más accionadores para ajustar algún aspecto de la operación de mezcla, por ejemplo flujo de dióxido de carbono a la mezcladora, o flujo de aditivo a la mezcladora, y un controlador que recibe señales del sensor o sensores, las procesa para determinar si se requiere modulación de la operación de mezcla, y si es así, transmite una señal a un accionador o accionadores para llevar a cabo la modulación.

Accionadores

[000283] El accionador o accionadores pueden ser, por

ejemplo, una o más válvulas, tal como válvula solenoide, en uno o más conductos que suministran un componente, tal como dióxido de carbono, a la mezcladora, como se describe en otra parte en la presente. Un accionador para administración de CO_2 puede ser, por ejemplo, un colector de administración con, por ejemplo sensor de temperatura de gas, sensor de presión de gas, válvula de control de modulación, montaje de placa con orificios y solenoide de apertura/cierre. Estos componentes todos se pueden combinar en una unidad singular, es decir un controlador de flujo. En ciertas modalidades, además de o alternativamente a, un sistema de administración de gas, se puede utilizar uno o más accionadores para controlar la administración de agua de mezcla carbonatada, como se describe en la presente. Estos accionadores pueden incluir, por ejemplo, accionadores para controlar carga de agua de mezcla con dióxido de carbono y/o accionadores para controlar administración de agua cargada con dióxido de carbono a la mezcladora. De forma similar, un accionador que controla la administración de agua a la mezcla puede estar bajo el control del controlador, así como un accionador que controla la administración de uno o más aditivos a la mezcla. Además, un accionador puede incluir un conmutador de relé unido a la fuente de alimentación de recolector de polvo para apagar el recolector de polvo de mezcladora durante la administración de CO_2 (si es necesario). En general, la modulación de exposición a dióxido de carbono será un incremento o disminución en la exposición, tal como una disminución en la velocidad de flujo del gas de dióxido de carbono a la mezcladora. En ciertas modalidades, la modulación detiene el flujo de gas de dióxido de carbono a la mezcladora.

[000284] Por lo tanto, en ciertas modalidades, la invención proporciona un método y aparato para producir mezcla de

cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que incluye un sistema de control que incluye al menos un accionador para controlar al menos una acción seleccionada del grupo que consiste de un flujo de dióxido de carbono a la mezcladora, flujo de agua a la mezcladora, y flujo de aditivo a la mezcladora. En ciertas modalidades la invención proporciona un método o aparato para producir mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que incluye un sistema de control que incluye al menos dos accionadores para controlar al menos dos acciones seleccionadas del grupo que consiste de un flujo de dióxido de carbono a la mezcladora, flujo de agua a la mezcladora, y flujo de aditivo a la mezcladora. En ciertas modalidades la invención proporciona un método o aparato para producir mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que incluye un sistema de control que incluye un accionador para controlar flujo de dióxido de carbono a la mezcladora, un accionador para controlar flujo de agua a la mezcladora, y un accionador para controlar flujo de aditivo a la mezcladora.

[000285] Otros accionadores, tal como accionadores que controlan uno o más aspectos de producción de cemento hidráulico, tal como temporización de mezcla, administración de entrada de enfriamiento tal como hielo o nitrógeno líquido, activación de una alarma, y similares, también se pueden utilizar como sea apropiado.

Controlador

[000286] Los sistemas de control utilizados en métodos y aparatos pueden incluir un controlador que recibe entradas el uno o más sensores, las procesa al compararlas con valores prestablecidos para lograr el resultado deseado, y, como sea necesario, envía salidas al uno o más accionador para dirigir al sistema al resultado deseado.

[000287] El controlador puede ser, por ejemplo, un circuito electrónico o un controlador lógico programable, ubicado ya sea en el sitio con la mezcladora o fuera del sitio, por ejemplo, como parte de una red de computadora. Por ejemplo, el controlador puede ser un controlador lógico programable (PLC) con una interfaz hombre-máquina (HMI) por ejemplo una pantalla táctil y computadora de telemetría abordo. El controlador puede estar integrado en el controlador general de mezcladora o puede ser una unidad separada que recibe entradas del controlador de mezcladora como sea apropiado.

[000288] Un conjunto de ejemplo de operaciones para un controlador en respuesta a las entradas de diferentes sensores y que da salidas a diferentes accionadores se ilustra más adelante.

[000289] El sistema puede incluir los siguientes componentes: 1) controlador lógico programable (PLC) con interfaz hombre-máquina (HMI) unida, por ejemplo un pantalla táctil y computadora de telemetría abordo. 2) Colector de administración de gas con, por ejemplo, sensor de temperatura de gas, medidor de presión de gas, válvula de control de modulación, y/o montaje de placa de orificios y solenoide de apertura/cierre. Estos componentes todos se pueden combinar en una unidad singular, es decir un controlador de flujo. 3) Báscula de cemento que se alimenta de una mezcladora de concreto para medir cantidad de cemento utilizado en un lote. Esta cantidad se utiliza lógicamente para determinar la dosis de CO_2 con base en contenido de cemento (información adicional más adelante). 4) Conmutador de proximidad para activar la administración de CO_2 a la mezcladora. 5) Conmutador de relé unido a fuente de alimentación de recolector de polvo para apagar recolector de polvo de mezcladora durante la administración de CO_2 (si es necesario). 6) Uno o más sensores de CO_2 colocados alrededor

de la mezcladora utilizados para monitorizar concentración de gas de dióxido de carbono fuera de la mezcladora. Los datos se pueden utilizar lógicamente para reducir al mínimo el desperdicio al controlar el flujo o monitorizar la seguridad (información adicional más adelante). 7) Sensor de temperatura de concreto en o sobre mezcladora utilizado para monitorizar la temperatura de concreto durante el tratamiento de carbonatación. Los datos se pueden utilizar lógicamente para controlar la dosis de CO_2 así como la velocidad de flujo (información adicional más adelante). 8) Sensor de humedad utilizado para monitorizar humedad de concreto en la mezcladora. Esta información se puede utilizar para controlar lógicamente la dosis de CO_2 (información adicional más adelante). 9) Sensor de reología de concreto para monitorizar la consistencia del concreto. La información acerca de la trabajabilidad del concreto se puede utilizar lógicamente para indicar administración de aditivo o puntos de fin de proceso. No todos estos componentes necesitan estar presentes, dependiendo de las necesidades de la operación de mezcla. Por ejemplo, puede no utilizarse un sensor de reología en una operación de colado en seco.

[000290] Los aspectos de operación del sistema son como sigue:

[000291] 1. Un PLC se programa, por ejemplo, a través de la HMI, para aplicar tratamiento de dióxido de carbono a un primer lote. Se pueden introducir en este momento ajustes de umbrales de proceso para aspectos tal como concentración de CO_2 en el aire en un punto de fuga y/o en un área de trabajadores, temperatura de concreto y/o velocidad de cambio de temperatura, humedad de concreto y/o velocidad de cambio de humedad, reología de concreto,

[000292] 2. El procesamiento por lotes comienza por una señal del controlador de mezcla a la mezcladora. Esto sigue

lógicamente después del paso anterior. El software del controlador de mezcladora puede comunicar información de lote al PLC.

[000293] 3. Se añaden materiales a la mezcladora (por ejemplo agregados). Esto sigue lógicamente después del paso anterior como parte de la práctica normal.

[000294] 4. Se pesa el cemento. Esto sigue lógicamente después del paso anterior como parte de la práctica normal. Un sensor de masa de cemento (peso) determina la masa (peso) del cemento utilizado en el lote y alimenta información al PLC.

[000295] 5. El PLC realiza un cálculo para determinar el flujo de gas requerido. Esto sigue lógicamente de un paso anterior. El PLC calcula la cantidad de gas necesario para administración a la mezcla actual con base en una velocidad de dosis de porcentaje de masa de gas a masa de cemento. El cálculo del PLC puede referirse a un punto de ajuste predeterminado. Puede alternativamente, o además, recurrir a datos históricos de combinaciones previas de tamaño de mezcla, tipo de mezcla y velocidad de dosis de CO_2, ya sea del sitio de mezcla en el cual se mezcla el lote actual, o de otros sitios de mezcla, o una combinación de los mismos. Puede utilizar información (ya sea de entrada o detectada) acerca del tamaño de lote, masa de cemento, tipo de mezcla y volumen de mezcladora. Por ejemplo, puede utilizar información acerca del tipo de cemento u origen para determinar si, cuál, y/o la cantidad de aditivo que se debe emplear. El PLC puede aceptar información necesaria para cálculos de fuentes que incluyen entrada de usuario a la HMI, comunicación con el software de controlador de mezcladora, y el sensor de masa de cemento. Los cálculos del PLC dependerán de la adquisición de todos los datos requeridos que pueden provenir de, por ejemplo, la HMI en el paso 1, software de

controlador de mezcla en el paso 2, y/o sensor de masa de cemento en el paso 4.

[000296] 6. El cemento se vacía a la mezcladora. Esto sigue lógicamente después del paso anterior. Se detecta el tiempo durante el cual el cemento entra a la mezcladora. Un sensor de proximidad puede detectar el depósito de cemento en la mezcladora a través de un movimiento físico (por ejemplo, la apertura de una puerta o compuerta). Alternativamente, el tiempo de adición de cemento se puede suministrar de forma síncrona del software de controlador de mezcladora. Se transmite el tiempo durante el cual el cemento se coloca a la mezcladora al PLC.

[000297] 7. El PLC comienza la administración de gas. Esto puede ser concurrente con el paso anterior, en algún tiempo predeterminado después del paso anterior, o incluso antes del paso anterior, si se desea reemplazar alguna parte de o todo el aire en la mezcladora con CO_2 antes de la deposición del cemento. El PLC puede enviar una señal al recolector de polvo de mezcladora para que se apague durante toda o una parte de la administración de CO_2 o coordinado de otra forma con algún aspecto de la administración de gas. El PLC envía señal al solenoide en el sistema de administración de CO_2 para abrirse ya sea en coordinación con la inserción de cemento o en algún tiempo antes o después de la inserción.

[000298] 8. El PLC examina los sensores para cualquier condición de proceso para la cual la señal de administración de CO_2 va a cambiar/finalizar de acuerdo con condiciones prestablecidas o por otros aspectos medibles. Esto sigue lógicamente después del paso anterior. A) Sensor de temperatura – la temperatura de concreto excede un valor umbral o velocidad que se puede ajustar para correlación a un aumento de temperatura objetivo o un aumento de temperatura máxima permisible. B) Sensores de fuga de CO_2 – los sensores

de CO_2 en los puntos de fuga significativos en la mezcladora han detectado un contenido de CO_2 que excede un umbral prestablecido o un valor relativo por encima de una medición de referencia. C) Sensores de seguridad de CO_2 –los sensores de CO_2 que monitorizan el contenido de CO_2 del aire en la vecindad general de la mezcladora ha alcanzado un valor umbral. También puede haber un sensor de oxígeno que mide el contenido de oxígeno del aire. Estos sensores se ubican en áreas en las cuales acceden los trabajadores alrededor de la máquina en lugar de fugas inmediatamente de la mezcladora. D) Sensor de humedad –el contenido de humedad del concreto ha alcanzado un umbral absoluto con respecto a un punto de ajuste o ha pasado de otra forma una medición relativa con respecto al lote en cuestión. Por ejemplo, una condición puede confirmar que el contenido de humedad del concreto varía inherentemente de lote a lote pero buscaría una disminución en el contenido de humedad de, por ejemplo, 0.5% con respecto a la medición esperada si no se hubiera aplicado nada de CO_2 o la medición inicial, etc. E) Reología – (relevante a mezcla húmeda) la trabajabilidad del concreto se mide y se encuentra que alcanza un nivel umbral. F) Temporizador en PLC –el PLC puede tener un tiempo de administración máxima predefinida que puede indicar una condición de detención en el caso de que ningún otro sensor haya activado una detención.

[000299] 9. Se detecta una condición de modificación de flujo de gas. El PLC recibe una señal de un sensor y modifica la administración de gas en respuesta. Sigue lógicamente del paso anterior. A) Cualquier sensor puede sugerir que se modifique el flujo de entrada de gas (por ejemplo, reduzca) conforme se acerca a un valor umbral en lugar de que simplemente se alcance o se cruce. B) Sensor de temperatura – si el sensor detecta un incremento en la temperatura del

concreto que es mayor que el esperado entonces se puede enviar una señal de PLC para reducir la velocidad de entrada de dióxido de carbono. Por el contrario, si la velocidad de incremento de temperatura es menor que el esperado entonces el PLC puede incrementar la velocidad de entrada de dióxido de carbono. Además de o alternativamente, si se alcanza una cierta temperatura umbral, se puede detener la administración de dióxido de carbono. C) Sensores de fuga de CO_2 –si los sensores detectan un incremento en la concentración de CO_2 en los puntos de fuga de mezcladora se puede enviar una señal al PLC, que reduce la entrada de dióxido de carbono. Por ejemplo, las fugas pueden ser una indicación de que el espacio de cabeza de la mezcladora se ha rellenado con CO_2 y cualquier adición adicional dará por resultado fugas o desbordamiento. La entrada de CO_2 se puede reducir a una velocidad que está en proporción con la tasa de absorción proyectada del dióxido de carbono en el cemento. Por lo que cualquier gas que se absorbe en el concreto a su vez se reemplaza con nuevo CO_2 gaseoso para mantener una cantidad total de gas en la mezcladora. D) Sensor de reología –si el sensor detecta una disminución, por ejemplo, una disminución rápida en la trabajabilidad del concreto, se puede enviar una señal para el PLC para reducir la entrada de dióxido de carbono. Por el contrario, si la pérdida de trabajabilidad es menor que la esperada, el PLC puede incrementar la entrada de dióxido de carbono. Otras salidas del PLC pueden provocar adición de aditivo, agua, o ambos a la mezcla.

[000300] 10. Una condición de detención de administración de gas alcanzada, el PLC recibe una señal para detener la administración de gas. Sigue lógicamente del paso anterior. Se cierra el solenoide. Finaliza la administración de gas.

[000301] 11. Después de que se completa la administración de CO_2 los sensores pueden enviar señales al controlador que

requiere entradas complementarias a la mezcladora. Sigue lógicamente del paso anterior. A) El sensor de temperatura puede detectar un aumento de temperatura que requiere que se reduzca la temperatura del concreto a través de la adición de una entrada de enfriamiento tal como hielo o nitrógeno líquido. B) El sensor de temperatura detecta que la absorción de CO_2 objetivo del concreto se ha alcanzado que puede pedir la adición de un aditivo apropiado. C) La lectura del sensor de humedad provoca que el PLC indique agua de mezcla adicional u otra medición correctiva tal como un aditivo. D) La entrada del sensor de reología al PLC provoca salida de adición de agua de mezcla adicional, o una adición de aditivo, o ambos, para facilitar un incremento de la trabajabilidad u otra medición correctiva.

[000302] 12. Se completa la mezcla y el procesamiento por lotes. Se libera el concreto al resto del ciclo de producción. Sigue lógicamente del paso anterior.

[000303] 13. El PLC puede llevar a cabo cálculos para aprender para lotes posteriores-particularmente para la siguiente vez que se utilice la misma o una combinación similar de diseño de mezcla y dosis de CO_2. Se pueden predecir de otra forma ajustes para dosis de CO_2 para aplicar al mismo diseño de mezcla, o para lotes más pequeños de diseño de mezcla con la misma dosis de CO_2, etc. Esto puede ser concurrente con el paso anterior. A) Los datos de los sensores de fuga de CO_2 pueden dictar que, para una mezcla futura, la velocidad de flujo se debe reducir si existieran fugas excesivas (se suministra demasiado gas) o incrementar debido a que no hay fugas del todo (no se ha suministrado suficiente gas) en la mezcla actual). El PLC tomará nota del ajuste de flujo de gas actualizado o recalculado para uso futuro. B) Los datos de temperatura pueden informar uso de tratamiento de enfriamiento, futuro. El PLC tomará nota de la

respuesta de temperatura como consecuencia del ajuste de temperatura aplicado para ajuste del tratamiento de enfriamiento en lotes futuros. Por ejemplo el tratamiento de enfriamiento futuro puede ser mayor o menor si el tratamiento de enfriamiento actual se encontró que es inadecuado. C) Los datos de temperatura pueden informar evaluaciones cinéticas futuras de aumento de temperatura vs tiempo para una combinación dada de diseño de mezcla y condición de administración de gas. D) Los datos de sensor de humedad pueden informar ajuste de agua de mezcla, futuro requerido ya sea para que esté incluido como parte del agua de mezcla inicial o como agua de mezcla de adición posterior. En el primer caso la adición de agua total se puede aproximar incrementalmente mientras que mezclas posteriores pueden utilizar el punto final determinado en la primera mezcla como un ajuste objetivo. E) La información reológica puede informar uso de aditivo futuro. El PLC puede correlacionar una dosis cuantificada de aditivo con la respuesta en la métrica de trabajabilidad. La proporción de aditivo a los aspectos tal como, pero no se limita a, contenido de cemento, dióxido de carbono absorbido (ya sea medido directamente a posteriori o aproximadamente por incremento de temperatura) se puede grabar y recalcular recursivamente la mejora de trabajabilidad conforme se adquieran datos adicionales mejorando de esta forma la lógica de dosificación de aditivo. Información adicional con respecto a las características de lote, tal como fluidez o resistencia en uno o más puntos de tiempo, absorción de agua, y similares, también se pueden introducir.

[000304] 14. Los datos de telemetría se pueden registrar y distribuir por el PLC a un almacenamiento de datos remoto. Esto puede ser concurrente con el final de la administración de gas (paso 10) o después de los últimos pasos si la

información adicional adquirida después del final de la administración es parte de la información transmitida.

[000305] Sistemas de control y mezcladoras de ejemplo se ilustran en las Figuras 1, 2, y 3. La Figura 1 muestra una mezcladora planetaria, estacionaria, por ejemplo, para uso en una operación de precolado. La báscula de cemento 1 incluye un sensor de masa que envía datos con respecto a la masa en el cemento dispensado del silo de cemento 2 al controlador 10. El sensor de proximidad 3 detecta cuando se libera cemento a la mezcladora y envía una señal al controlador. Alternativamente, el controlador de mezcla (no mostrado) puede enviar una señal al controlador 10 cuando se libera el cemento. La administración de CO_2 puede comenzar tras la liberación de cemento; alternativamente, la administración de CO_2 comienza antes o después de la liberación. Los sensores de CO_2 8 y 9 se ubican en áreas de fuga fuera de la mezcladora y envían señales con respecto al contenido de CO_2 atmosférico al controlador 10. Además, el sensor de temperatura 6 envía señales con respecto a la temperatura de la mezcla de concreto al controlador 10. Se pueden utilizar sensores adicionales, tal como sensores de humedad y reología, o sensores adicionales de CO_2 en áreas de trabajadores en la vecindad de la mezcladora (no mostrados) y envían señales adicionales al controlador. El controlador 10 procesa las señales y envía salida a un accionador 11 para controlar administración de CO_2 de un suministro de CO_2 1q3 a través de un conducto a la entrada de mezcladora de gas de CO_2 7, donde entra al espacio de cabeza de mezcladora 4 y entra en contacto con la mezcla de concreto 5. Por ejemplo, en un caso básico, el controlador 10 puede enviar una señal al accionador para abrir una válvula para administración de CO_2 tras recibir entrada del sensor de proximidad 3 que indica que se ha administrado cemento a la mezcladora, y

envía una señal al accionador 11 para cerrar la válvula tras recibir entrada de uno o más de los sensores de CO_2 8 y 9 o el sensor de temperatura 6 que indica que se ha logrado la administración deseada de CO_2 a la mezcladora, o la absorción de CO_2 en el concreto. El controlador puede enviar salida a accionadores adicionales tal como un accionador para controlar la adición de agua o un accionador que controla adición de aditivo (no mostrado). Un sistema de telemetría opcional 12 se puede utilizar para transmitir información con respecto al lote a una ubicación central que se va a utilizar, por ejemplo, para almacenar datos para uso en lotes futuros y/o para uso para modificación de las mismas o mezclas similares en otras ubicaciones.

[000306] Las Figuras 2 y 3 muestran una mezcladora de cemento móvil, en este caso, un camión de mezcla final. La Figura 2 muestra un camión de mezcla final 1 con un sistema de administración de dióxido de carbono desmontable. El dióxido de carbono se suministra de un suministro de dióxido de carbono 8 por un conducto que se puede unir a un conducto en el camión 2 en una junta 4. El controlador 6 controla el suministro de dióxido de carbono al tambor del camión 2 por un accionador 5. Los sensores, tal como sensores de CO_2 se pueden ubicar en áreas de fuga fuera y/o dentro del tambor 2 y envían señales con respecto al contenido de CO_2 atmosférico al controlador 6. Además, uno o más sensores de temperatura pueden enviar señales con respecto a la temperatura de la mezcla de concreto al controlador 6. Sensores adicionales, tal como sensores de humedad y reología, o sensores adicionales de CO_2 en las áreas de trabajadores en la vecindad de la mezcladora se pueden utilizar (no mostrados) y envían señales adicionales al controlador. Los controladores envían una señal al accionador (por ejemplo, válvula) 5 para controlar adición de dióxido de carbono al tambor 2. Se

pueden controlar accionadores adicionales por el controlador, tal como para controlar adición de un aditivo al tambor 2. Se puede utilizar un sistema de telemetría opcional 7 para transmitir información con respecto al lote a una ubicación central que se va a utilizar, por ejemplo, para almacenar datos para uso en lotes futuros y/o uso para modificación de las mismas o mezclas similares en otras ubicaciones. La Figura 3 muestra un camión de mezcla final con sistema de administración de dióxido de carbono unido que viaja con el camión 1. Esto puede ser útil para, por ejemplo, optimizar exposición de la mezcla de cemento a dióxido de carbono. El dióxido de carbono se suministra de un suministro de dióxido de carbono 7 para un conducto 3 que se puede unir al camión y administra dióxido de carbono al tambor del camión 2. El controlador 5 controla el suministro de dióxido de carbono al tambor del camión 2 por un accionador 4. Se pueden colocar sensores, tal como sensores de CO_2 en áreas de fuga fuera y/o dentro del tambor 2 y envían señales con respecto al contenido de CO_2 atmosférico al controlador 5. Además, uno o más sensores de temperatura pueden enviar señales con respecto a la temperatura de la mezcla de concreto al controlador 5. Se pueden utilizar sensores adicionales, tal como sensores de humedad y reología, o sensores adicionales de CO_2 en áreas de trabajadores en la vecindad de la mezcladora (no mostrados) y envían señales adicionales al controlador. Los controladores envían una señal al accionador (por ejemplo, válvula) 4 para controlar adición de dióxido de carbono al tambor 2. Se pueden controlar accionadores adicionales por el controlador, tal como para controlar adición de un aditivo al tambor 2. Se puede utilizar un sistema de telemetría opcional 6 para transmitir información con respecto al lote a una ubicación central que se va a utilizar, por ejemplo, para almacenar datos para uso en lotes

futuros y/o para uso para modificación de las mismas o mezclas similares en otras ubicaciones. En ciertas modalidades el controlador 5 se coloca remoto del camión y recibe las señales del sistema de telemetría, y transmite señales que se reciben y llevan a cabo por el accionador 4.

D. Mezcladoras

[000307] La mezcladora en la cual se pone en contacto el dióxido de carbono con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante la mezcla puede ser cualquier mezcladora adecuada. La mezcladora puede estar relativamente fija en ubicación o puede proporcionar tanto mezcla y transporte a una ubicación diferente de la ubicación de mezcla.

[000308] En ciertas modalidades, la mezcladora es de ubicación fija o relativamente fija. Por lo tanto, por ejemplo, en ciertas modalidades la mezcladora es parte de un aparato de precolado. Por ejemplo, la mezcladora se puede configurar para mezclar concreto antes de introducir el concreto a un molde para producir un producto de concreto precolado. En ciertas modalidades, la mezcladora se configura para mezclar concreto antes de introducir el concreto a un molde, y la adición de dióxido de carbono a la mezcla de concreto, los componentes de la mezcla de concreto, y, opcionalmente, otros ingredientes tal como uno o más aditivos, se ajustan de tal forma que se combina un nivel deseado de flujo de la mezcla de concreto, generalmente muy bajo o ningún flujo con un nivel deseado de compactabilidad de tal forma que se puede compactar el concreto dentro de un cierto intervalo de parámetros durante y después de la administración a un molde, y de tal forma que el producto final posee un tiempo de endurecimiento deseado, resistencia, encogimiento, y otras características como se desee. Por ejemplo, se puede colocar un tubo de gas para administrar

dióxido de carbono a la mezcladora con la línea de gas colocada de tal forma que no interfiere con la operación de mezcladora normal. El gas se administra en proporción a la cantidad de cemento, por ejemplo en el intervalo de 0.05% a 2.5%, o cualquier otro intervalo adecuado como se describe en la presente. La administración de gas se puede confinar al tiempo de mezcla normal. En ciertas modalidades la administración de gas se puede activar por una compuerta para el tubo de adición de cemento. Cuando se cierra la compuerta (señalización de terminación de adición de cemento) un sensor de proximidad magnético detecta el estado cerrado y activa el inicio del flujo de dióxido de carbono.

[000309] En ciertas modalidades, en las cuales la mezcladora es una mezcladora fija, por ejemplo en una operación de precolado en seco o en húmedo, la mezcladora se configura para mezclar concreto y administrarlo a un componente de almacenamiento, por ejemplo, una tolva, que administra además el concreto o molde, opcionalmente por una caja de alimentación. El dióxido de carbono adicional se puede añadir a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en la tolva y/o caja de alimentación, si se desea. Ver Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 13/660,447 incorporada en la presente como referencia en su totalidad. En ciertas modalidades, no se añade nada de dióxido de carbono adicional a la mezcla (aparte del dióxido de carbono en la atmósfera) después de que el concreto sale de la mezcladora.

[000310] La adición de dióxido de carbono puede afectar la compactabilidad y por lo tanto la resistencia del objeto final, por ejemplo, objeto precolado. En el caso de una operación de colado en húmedo, la fluidez también es una consideración. Por lo tanto, en ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono a la mezcla de concreto, los

componentes de la mezcla de concreto, y, opcionalmente, otros ingredientes tal como uno o más aditivos, se ajustan de tal forma que se logra un nivel deseado de compactabilidad (resistencia) y/o fluidez de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, concreto, generalmente un nivel de compactabilidad (resistencia) y/o fluidez similar al nivel que estaría presente sin la adición del dióxido de carbono, de tal forma que el producto final después de que se vacía el concreto al molde y se compacta posee una resistencia deseada, tal como una resistencia deseada de 1, 7, 28, y 56 días, y/o de tal forma que la fluidez está en un valor deseado. En el caso de la mezcladora de precolado, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de concreto, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se pueden ajustar de tal forma que la compactabilidad y/o resistencia de 1, 7, 28 y/o 56 días de la mezcla de concreto final está dentro 50, 40, 30, 20, 10, 8, 5, 4, 3, 2, 1, 0.5, o 0.1% del valor o valores que se lograrían sin la adición de dióxido de carbono, o está dentro 50, 40, 30, 20, 10, 8, 5, 4, 3, 2, 1, 0.5, o 0.1% de un valor deseado predeterminado. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de concreto, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la compactabilidad y/o resistencia de 1, 7, y/o 28 días de la mezcla de concreto final está dentro del 10% de la compactabilidad y/o resistencia de 1, 7, y/o 28 días de la mezcla de concreto final que se lograría sin la adición de dióxido de carbono. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de concreto, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la compactabilidad y/o resistencia de 1, 7, y/o 28 días de la mezcla de concreto final está dentro del 5% de la

compactabilidad y/o resistencia de 1, 7, y/o 28 días de la mezcla de concreto final que se lograría sin la adición de dióxido de carbono. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de concreto, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que compactabilidad y/o resistencia de 1, 7, y/o 28 días de la mezcla de concreto final está dentro del 2% compactabilidad y/o resistencia de 1, 7, y/o 28 días de la mezcla de concreto final que se lograría sin la adición de dióxido de carbono. Otros límites e intervalos de compactabilidad y/o resistencia de 1, 7, y/o 28 días de la mezcla de concreto final, como se describe en la presente, también se pueden utilizar. Cualquier método de medición adecuado para determinar compactabilidad y/o resistencia de 1, 7, y/o 28 días de la mezcla de concreto final se puede utilizar. En ciertas modalidades, además de la compactabilidad deseada y/o resistencia de 1, 7, y/o 28 días de la mezcla de concreto final se logran una o más características adicionales, tal como que el encogimiento esté dentro de ciertos intervalos deseados, o por encima o por debajo de ciertos números umbrales, como se determina por métodos estándar en la técnica. En todos los casos, si la operación es una operación de colado en húmedo, además, o alternativamente, se puede modular la fluidez, por ejemplo, por uso de uno o más aditivos, por ejemplo de tal forma que la fluidez está dentro de 50, 40, 30, 20, 10, 8, 5, 4, 3, 2, 1, 0.5, o 0.1% del valor o valores que se lograrían sin la adición de dióxido de carbono, o dentro de 50, 40, 30, 20, 10, 8, 5, 4, 3, 2, 1, 0.5, o 0.1% de un valor predeterminado. Se puede utilizar cualquier aditivo adecuado, como se describe en la presente. En ciertas modalidades el aditivo comprende un retardante de fijación. En ciertas modalidades, el aditivo comprende un carbohidrato, tal como un sacárido,

por ejemplo azúcar o derivado de azúcar. En ciertas modalidades, el aditivo se selecciona del grupo que consiste de fructuosa, glucoheptonato de sodio, y gluconato de sodio. En ciertas modalidades, el aditivo es gluconato de sodio, por ejemplo, gluconato de sodio administrado para lograr un porcentaje, en peso de cemento, de 0.05-0.8%, 0.1-0.8%, o 0.1-0.6%, o 0.1-0.5%, o 0.2-0.5%, o 0.2-3%, o 0.2-2%, o 0.2-1%. En ciertas modalidades también se utiliza un segundo aditivo, tal como cualquiera de los aditivos descritos en la presente.

[000311] En ciertas modalidades, la mezcladora es una mezcladora transportable. "Mezcladora transportable", como se utiliza ese término en la presente, incluye mezcladoras en las cuales se colocan componentes de una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en una ubicación y la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se transporta a otra ubicación que es remota de la primera ubicación, y entonces se usa. La mezcladora transportable se transporta por, por ejemplo, carretera o rieles. Como se utiliza en la presente, una mezcladora transportable no es una mezcladora tal como aquellas utilizadas en operaciones de concreto precolado. Por lo tanto, en ciertas modalidades, la mezcladora puede ser el tambor de un camión de mezcla final en el cual se prepara una mezcla de concreto para distribución a un sitio de trabajo. En este caso, la mezcladora se configura para mezclar concreto y para distribuirlo a un sitio de trabajo, y la adición de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, los componentes de la mezcla de concreto, y opcionalmente, otros ingredientes tal como uno o más aditivos, se ajustan de tal forma que se logra un nivel deseado de flujo de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, es decir, concreto, generalmente un nivel de flujo que es similar al

nivel que estaría presente sin la adición de dióxido de carbono, o una fluidez predeterminada, y por lo que el producto final después del vaciado en el sitio de trabajo posee un tiempo de endurecimiento deseado, resistencia, encogimiento y otras características como se desee. En el caso de la mezcladora de mezcla final, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de concreto, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la fluidez de la mezcla de concreto final está dentro de 50, 40, 30, 20, 10, 8, 5, 4, 3, 2, 1, 0.5 o 0.1% de la fluidez que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o una fluidez predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de concreto, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la fluidez de la mezcla de concreto final está dentro del 10% de la fluidez que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o una fluidez predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de concreto, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la fluidez de la mezcla de concreto final está dentro del 5% de la fluidez que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o una fluidez predeterminada. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de concreto, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la fluidez de la mezcla de concreto final está dentro del 2% de la fluidez que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o una fluidez predeterminada. También se pueden utilizar otros límites e intervalos de fluidez, como se describe en la presente. Cualquier método de medición adecuado para determinar fluidez se puede utilizar, tal como

la prueba de asentamiento bien conocida. En ciertas modalidades, además de la fluidez deseada, se logran una o más características adicionales, tal como que el encogimiento y/o resistencia, tal como resistencia a la compresión, en uno o más tiempos después del vaciado de concreto estén dentro de ciertos intervalos deseados, o por encima o por debajo de ciertos número umbrales, como se determina por métodos estándar en la técnica. La adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de concreto, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la resistencia de 1, 7, 28 y/o 56 de la mezcla de concreto final está dentro de 50, 40, 30, 20, 10, 8, 5, 4, 3, 2, 1, 0.5 o 0.1% del valor o valores que se lograrían sin la adición de dióxido de carbono, o un valor de resistencia predeterminada.

[000312] Se apreciará que, dependiendo del diseño de mezcla, dosis de dióxido de carbono, y/u otros aspectos de la mezcla o condiciones bajo las cuales se mezcla y/o se utiliza el concreto, el concreto carbonatado puede tener una mayor resistencia a la compresión en uno o más puntos de tiempo en comparación con concreto no carbonatado; esto es especialmente probable cuando se utiliza una baja dosis de dióxido de carbono, tal como una dosis de menos de 1% bwc (ver sección de baja dosis). En este caso, la adición de una dosis particular de dióxido de carbono puede dar por resultado un incremento en la resistencia, por ejemplo, resistencia a la compresión, tal como un incremento de al menos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40, o 50% comparado con concreto no carbonatado del mismo diseño de mezcla y bajo las mismas condiciones en uno o más tiempos después de la mezcla, tal como en 24 horas, 3 días, 7 días, 28 días, 56 días, o similares; alternativamente, o además, la cantidad de cemento en la mezcla se puede reducir de tal forma que la

mezcla carbonatada contiene menos cemento que la mezcla no carbonatada pero alcanza una resistencia a la compresión aceptable en uno o más tiempos deseados después de la mezcla, tal como dentro de 20, 10, 5, 4, 3, 2, o 1% de la resistencia a la compresión de una mezcla no carbonatada con la cantidad normal de cemento. En ciertas modalidades, la cantidad de cemento en la mezcla se puede reducir por al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, 25, o 30% en comparación con mezcla no carbonatada y aún logra la resistencia deseada en los tiempos deseados. Estas consideraciones de resistencia incrementada y/o uso disminuido de cemento se aplican tanto a operaciones transportables como estacionarias. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de cemento, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la resistencia de 1, 7, 28, y/o 56 días de la mezcla de concreto final está dentro del 10% de la resistencia de 1, 7, 28 y/o 56 días de la mezcla de concreto final que se lograría sin la adición de dióxido de carbono o un valor de resistencia predeterminado. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de concreto, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la resistencia de 1, 7, 28, y/o 56 días de la mezcla de concreto final está dentro del 5% de la resistencia de 1, 7, 28 y/o 56 días de la mezcla de concreto final que se lograría sin la adición de dióxido de carbono, o un valor de resistencia predeterminado. En ciertas modalidades, la adición de dióxido de carbono, componentes de la mezcla de cemento, y/o componentes adicionales tal como uno o más aditivos, se puede ajustar de tal forma que la resistencia de 1, 7, 28, y/o 56 días de la mezcla de concreto final está dentro del 2% de la resistencia de 1, 7, 28 y/o 56 días de la mezcla de concreto final que se lograría sin la

adición de dióxido de carbono o un valor de resistencia predeterminado. Se pueden utilizar también otros límites e intervalos de resistencia de 1, 7, 28, y/o 56 días de la mezcla de concreto final, como se describe en la presente. Se puede utilizar cualquier método de medición adecuado para determinar resistencia de 1, 7, 28, y/o 56 días de la mezcla de concreto final. En ciertas modalidades, además de la resistencia de 1, 7, 28, y/o 56 días de la mezcla de concreto final, se logran una o más características adicionales, tal como que el encogimiento esté dentro de ciertos intervalos deseados, o por encima o por debajo de ciertos números umbrales, como se determina por métodos estándar en la técnica.

[000313] En modalidades en las cuales se utiliza un aditivo, se puede utilizar cualquier aditivo adecuado, como se describe en la presente. En ciertas modalidades el aditivo comprende un retardante de fijación. En ciertas modalidades, el aditivo comprende un carbohidrato, tal como un sacárido, por ejemplo, azúcar. En ciertas modalidades, el aditivo se selecciona del grupo que consiste de fructuosa, glucoheptonato de sodio, y gluconato de sodio. En ciertas modalidades, el aditivo es gluconato de sodio, por ejemplo, gluconato de sodio a un porcentaje de 0.01-2%, o 0.01-1%, o 0.01-0.8%, o 0.01-0.5%, o 0.01-0.1%, o 0.1-0.8%, o 0.1-0.6%, o 0.1-0.5%, o 0.2-0.5%, o 0.2-3%, o 0.2-2%, o 0.2-1%. En ciertas modalidades, el aditivo es fructuosa, por ejemplo, fructuosa a un porcentaje de 0.01-2%, o 0.01-1%, o 0.01-0.8%, o 0.01-0.5%, o 0.01-0.1%, o 0.1-0.8%, o 0.1-0.6%, o 0.1-0.5%, o 0.2-0.5%, o 0.2-3%, o 0.2-2%, o 0.2-1%. En ciertas modalidades también se utiliza un segundo aditivo, tal como cualquiera de los aditivos descritos en la presente.

[000314] Un tipo de mezcladora transportable es un camión volumétrico. Un camión de concreto volumétrico es un camión

que transporta y mezcla concreto en el sitio al mezclar agregado, cemento y agua en el sitio de trabajo, generalmente al utilizar una correa para medir los ingredientes y una barrena para mezclar el concreto antes de la descarga. Un esquema de un camión se puede ver en la Figura 147. Como se ve en la Figura 147, el concreto se mezcla en una barrena y entonces se descarga. Esta barrena está en un canal y convencionalmente se cubre con un tapete de caucho. Por lo tanto, en esta modalidad, la mezcladora es la barrena, y se puede añadir gas de CO_2 o gas/sólido a la mezcla de concreto de la parte superior de la barrena a través de un conducto. El techo de caucho mantiene el CO_2 encerrado en el canal y permite que se mezcle con el concreto antes de la descarga. El CO_2 se puede controlar por, por ejemplo, uso de un medidor de flujo y un solenoide. El sistema se puede controlar de forma manual, utilizando una perilla en el medidor de flujo y abriendo manualmente el solenoide. También se puede controlar automáticamente, por ejemplo, al obtener una señal de la computadora del camión que corresponde a la velocidad a la cual se mide el cemento a la tolva de mezcla y se activa cuando se mueve la barrena. La fuente de dióxido de carbono puede ser cualquier fuente como se describe en la presente, por ejemplo, un tanque de líquido o un tanque de gas. En el último caso, se puede montar un cilindro de CO_2 de alta presión en el camión a fin de suministrar el CO_2 para el concreto. El cilindro también se puede calentar (utilizando una camisa de calentamiento) si la velocidad de flujo necesaria excede aquella posible por la ebullición natural dentro del cilindro. Estos camiones pueden transportar hasta 60 m^3/hora (1 m^3/minuto), pero convencionalmente sólo transportan suficiente material para ~8 m^3 de concreto. Esto significaría una velocidad de flujo de CO_2 máxima entre 60-500 SLPM dependiendo del contenido de cemento de la mezcla y

dosis de CO_2. Otros aspectos son como se describen anteriormente para mezcladoras transportables.

[000315] Se apreciará que, tanto en el caso de un colado en húmedo (tal como mezcla final) o colado en seco, diferentes mezclas pueden requerir diferente tratamiento a fin de lograr una fluidez y/o compactabilidad deseada, y que se pueden probar tipos de mezclas por adelantado y tratamiento apropiado, por ejemplo, tipo y/o porcentaje apropiado de aditivo determinado. En ciertos casos puede no ser requerido el aditivo; de hecho, con ciertos tipos de mezcla y concentraciones de dióxido de carbono, la compactabilidad (resistencia) o la fluidez pueden estar dentro de límites aceptables; por ejemplo, la resistencia incluso se puede mejorar en ciertos tipos de mezcla a ciertos niveles de adición de dióxido de carbono. También, el punto en el procedimiento en el cual se introducen ingredientes puede afectar una o más características del producto, como se determina en pruebas de rutina y ajuste de mezcla.

[000316] La mezcladora se puede cerrar (es decir, completamente o sustancialmente completamente hermética) o abrir (es decir, el tambor de un camión de mezcla final, o mezcladora de precolado con diferentes puntos de fuga). La mezcladora puede ser una de una pluralidad de mezcladoras, en las cuales diferentes porciones de una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se mezclan, o puede ser una mezcladora individual en la cual se mezcla la mezcla de cemento completa, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como una mezcla de concreto, excepto en algunos casos.

[000317] Métodos de administración de dióxido de carbono

[000318] Se puede utilizar cualquier mezcladora adecuada para mezclar concreto en una operación para producir concreto para uso en objetos, tal como para uso en producción de materiales de construcción. En algunos casos se puede

utilizar una mezcladora donde la dosis deseada o absorción de dióxido de carbono se puede lograr utilizando administración de gas por separado. Por ejemplo, en la mayoría de las mezcladoras de precolado, la mezcladora se encierra pero no es hermética al gas (es decir, no abierta a la atmósfera, aunque no es hermética al gas, de tal forma que están disponibles puntos de fuga para, por ejemplo, sensores de dióxido de carbono) y el espacio de cabeza y los tiempos de mezcla son de tal forma que se puede lograr una dosis o absorción deseada con no más que la administración de dióxido de carbono gaseoso.

[000319] En algunos casos, sin embargo, tal como en un camión de mezcla final donde el espacio de cabeza es relativamente menor que en una mezcladora de precolado, típica, puede desearse, o puede ser necesaria, eficiencia adicional a fin de lograr una absorción o dosis de dióxido de carbono deseada. En estos casos, el uso de agua de mezcla cargada con dióxido de carbono, o dióxido de carbono líquido administrado para formar un gas y un sólido, o además del dióxido de carbono sólido, se puede utilizar cualquier combinación de los mismos. El dióxido de carbono se puede administrar a la mezcladora como un líquido que, a través de la manipulación apropiada de administración, tal como velocidad de flujo y/o selección de orificio, se vuelve una mezcla de dióxido de carbono gaseoso y dióxido de carbono sólido tras la administración, por ejemplo, en una relación aproximada de 1:1. El dióxido de carbono gaseoso está inmediatamente disponible para absorción en la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, en tanto que el dióxido de carbono sólido funciona efectivamente como una administración retardada de dióxido de carbono gaseoso conforme se sublima el sólido de forma gradual a gas. Además, o alternativamente, se puede utilizar agua de mezcla cargada

con dióxido de carbono. El agua cargada con dióxido de carbono se utiliza de forma rutinaria en, por ejemplo, la industria de gaseosa, y se puede utilizar cualquier método adecuado de carga del agua de mezcla. El agua se puede cargar para lograr una concentración de dióxido de carbono de al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 6, 8, 9, o 10 gramos de CO_2/L de agua. El agua de mezcla cargada con dióxido de carbono puede administrar una porción significativa de la dosis de dióxido de carbono deseada para una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, al menos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, o 95% del dióxido de carbono total administrado a un lote de mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se puede administrar en el agua de mezcla. En algunos casos, se puede administrar 100% del dióxido de carbono en el agua de mezcla. En algunos casos, se administra al menos 20% del dióxido de carbono en el agua de mezcla. En algunos casos, se administra al menos 30% del dióxido de carbono en el agua de mezcla. Sin que esté ligado por la teoría, se piensa que el dióxido de carbono administrado de esta forma reacciona rápidamente con componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, que permite absorción adicional de dióxido de carbono gaseoso por el agua. También se puede administrar dióxido de carbono en forma sólida, es decir, como hielo seco, directamente, como se describe en otra parte en la presente.

[000320] Una operación de mezcla final es un ejemplo de un sistema donde puede ser deseable utilizar tanto una o ambas de agua cargada con dióxido de carbono como administración de dióxido de carbono líquido. Un tambor de camión de mezcla final se abre a la atmósfera y tiene un espacio de cabeza relativamente pequeño en comparación con la masa de concreto, que convencionalmente es de 6 a 10 metros cúbicos cuando se

carga el camión a la capacidad, que es tan a menudo como sea posible. El tiempo de mezcla en el sitio de procesamiento por lotes puede ser relativamente corto. Por lo tanto el uso de agua de mezcla carbonatada y CO_2 líquido se puede utilizar para asegurar que se administra una dosis deseada de CO_2. Por ejemplo, en una operación de mezcla final en la cual se desea una administración de dióxido de carbono de 1.5%: el volumen de gas que se va añadir es ~2.66 de gas/m^3 de concreto (asumiendo que se carbonatan 350 kg/m^3 de cemento a 1.5%). El agua de mezcla se representa convencionalmente por agua añadida y exceso de humedad contenido en el agregado. Si el agua de mezcla libre (~ 160 L/m^3) se carbonata con CO_2 utilizando tecnología de carbonatación existente, tal como aquella utilizada en la industria de gaseosa, a 10 gramos de CO_2/L de agua esto representa aproximadamente 1/3 de la administración de dióxido de carbono objetivo de 1.5% bwc. El contacto con cemento da por resultado una rápida carbonatación del CO_2 disuelto, y el agua está rápidamente lista para disolución de dióxido de carbono adicional una vez que está en el camión y está en contacto con el cemento. El uso de dióxido de carbono en el agua de mezcla reduce el dióxido de carbono total que se va a añadir al camión a 3.66 kg de CO_2 (o aproximadamente 1.85 m^3 de gas/m^3 de concreto). Esta cantidad aún puede ser demasiado alta para que se administre de forma universal en forma de gas de presión atmosférica. Por lo tanto se puede utilizar inyección de CO_2 líquido al camión para el balance del suministro de dióxido de carbono. La inyección de CO_2 líquido del resto de 3.66 kg de CO_2/m^3 en el camión se puede hacer utilizando una velocidad de flujo controlada que se basa en sensores y una tasa de absorción de CO_2 calibrada. Ver mecanismos de control como se describe en la presente. Tras la administración a través de una boquilla el líquido se transforma a una mezcla de dióxido

de carbono sólido y gaseoso. La administración líquida puede dar por resultado, por ejemplo, 1.75 kg de nieve de CO_2 sólido (con una densidad de 1560 kg/m^3) y 1.9 kg de gas de CO_2 (0.96 m^3 de gas). El gas está inmediatamente disponible para absorción por el agua de mezcla en tanto que el CO_2 sólido sirve como una administración de CO_2 retardada, conforme el sólido se sublima gradualmente a gas. Este proceso reduce el volumen gaseoso inyectado al camión a aproximadamente 29% del volumen necesario si la administración de CO_2 completa habría sido a través de CO_2 gaseoso. En algunos casos parte de la mezcla de concreto, por ejemplo, el agregado, también puede estar húmeda. En ese caso, se utiliza menos agua de mezcla y en consecuencia más dióxido de carbono líquido. Se pueden utilizar sensores de humedad, por ejemplo, para detectar el contenido de humedad del agregado, para proporcionar información para permitir el ajuste, o incluso de una forma de lote por lote. Este enfoque puede permitir mayores velocidades de absorción y mayor eficiencia.

[000321] Modalidades de ejemplo incluye un método para producir una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) colocar componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en una mezcladora y mezclar los componentes; y (ii) administrar CO_2 líquido por una abertura en un conducto a la mezcladora de tal forma para provocar que el CO_2 líquido forme una mezcla de CO_2 gaseoso y sólido que entonces se pone en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. La administración de líquido se puede controlar de tal forma, por ejemplo, al ajustar la velocidad de flujo y/u orificio, u otra característica o medición ajustable, para formar una mezcla de dióxido de carbono gaseoso a sólido en una relación en el intervalo de 1:10 a 10:1, o 1:5 a 5:1, o 1:3 a 3:1, o 1:2 a 2:1, o 1:1.5 a 1.5:1,

o 1:1.2 a 1.2 a 1. La mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico comprende agua y el agua se puede cargar con CO_2 antes de la administración a la mezcladora como se describe en la presente, por ejemplo a un nivel de al menos 2 g de CO_2/L de agua, o al menos 4 g de CO_2/L de agua, o al menos 6 g de CO_2/L de agua, o al menos 8 g de CO_2/L de agua, o al menos 9 g de CO_2/L de agua, o al menos 10 g de CO_2/L de agua. La mezcladora puede ser cualquier mezcladora adecuada, tal como una mezcladora estacionaria o una mezcladora transportable, por ejemplo, el tambor de un camión de concreto de mezcla final. Cuando la mezcladora es el tambor de un camión de concreto de mezcla final, el CO_2 líquido se puede suministrar a la mezcladora en una planta de procesamiento por lotes, o se puede suministrar a la mezcladora durante el transporte del lote a un sitio de trabajo, o incluso en el propio sitio de trabajo, o una combinación de los mismos. El método puede incluir además monitorización de una característica de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, un componente de una mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, o un componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, y modulación del flujo de CO_2 líquido de acuerdo con la característica monitorizada. Por ejemplo, la concentración de CO_2, temperatura, contenido de humedad, reología, pH, o una combinación de los mismos se puede monitorizar, como se detalla en otra parte en la presente. Cuando se monitoriza el CO_2, se puede monitorizar en una porción del gas fuera de la mezcladora, por ejemplo en un punto de fuga o punto de derrame.

[000322] Modalidades de ejemplo también incluyen un método para producir una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de

cemento hidráulico que comprende (i) poner en contacto componentes de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con agua cargada con CO_2, en donde el agua se carga con CO_2 a un nivel de al menos 2 g/L, 3 g/L, 4 g/L, 6 g/L, 8 g/L, 9 g/L, o 10 g/L, y mezclar los componentes y el agua. Modalidades incluyen además un método para producir una mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) determinar una dosis de CO_2 que se va administrar a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico; y (ii) administrar al menos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, o 100% de la dosis de CO_2 como CO_2 disuelto en agua de mezcla para la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. En ciertas modalidades la dosis es 0.1-10%, o 0.5-5%, o 0.5-4%, o 0.5-3%, o 0.5-2%, o 1-5%, o 1-4%, o 1-3%, o 1-2% de CO_2 bwc. En ciertas modalidades la dosis es 1.5% de CO_2 bwc. La administración de agua de mezcla cargada con dióxido de carbono como se describe se puede combinar en algunas modalidades con la administración de dióxido de carbono gaseoso y/o líquido. Modalidades adicionales en las cuales se utiliza agua de mezcla carbonatada se describen en otra parte en la presente.

[000323] Modalidades de ejemplo incluyen además un aparato para carbonatar una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) una mezcladora para mezclar la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico; (ii) una fuente de CO_2 líquido; y (iii) un conducto que conecta de forma operable la fuente de CO_2 líquido a la mezcladora, en donde el conducto comprende un orificio a través del cual exhale el CO_2 líquido del conducto a la mezcladora. El conducto puede incluir un sistema para regular el flujo del CO_2 líquido donde el sistema, orificio, o ambos, se configuran para administrar el CO_2 líquido como una combinación de CO_2 sólido y gaseoso, tal como al regular

la velocidad de flujo del CO_2 líquido y/o configuración de orificio, tal como para producir una relación de CO_2 sólido a gaseoso en el intervalo de 1:10 a 10:1, o 1:5 a 5:1, o 1:3 a 3:1, o 1:2 a 2:1, o 1:1.5 a 1.5:1, o 1:1.2 a 1.2 a 1, por ejemplo, entre 1:3 y 3:1, o entre 1:2 y 2:1. La mezcladora puede ser una mezcladora transportable, tal como un tambor de un camión de mezcla final. La fuente de CO_2 líquido y el conducto pueden permanecer en una instalación de procesamiento por lotes después de que se carga la mezcladora transportable, o puede acompañar la mezcladora transportable cuando la mezcladora transportable transporta la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. El aparato puede incluir además un sistema para administrar agua cargada con CO_2 a la mezcladora que comprende una fuente de agua cargada de CO_2 y un conducto conectado operablemente a la fuente y configurado para administrar el agua a la mezcladora, que en algunos casos puede incluir además un cargador para cargar el agua con CO_2. En ciertos casos en la mezcladora es transportable y el sistema para administrar agua cargada con CO_2 a la mezcladora es desmontable de la mezcladora durante el transporte, por ejemplo, si la mezcladora es el tambor de un camión de mezcla final el sistema para administrar y, opcionalmente, cargar el agua cargada con CO_2 permanece en la instalación de procesamiento por lotes.

[000324] Modalidades de ejemplo también incluyen un aparato para producir una mezcla de cemento carbonatada, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) una mezcladora para mezclar la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico; y (ii) al menos dos de (a) una fuente de CO_2 gaseoso conectado operablemente a la mezcladora y configurada para administrar CO_2 gaseoso a la mezcladora; (b) una fuente de CO_2 líquido conectada operablemente a la

mezcladora y configurada para administrar CO_2 líquido a la mezcladora y liberar el CO_2 líquido a la mezcladora como una mezcla de CO_2 gaseoso y líquido, y (c) una fuente de agua carbonatada conectada operablemente a la mezcladora y configurada para administrar agua carbonatada a la mezcladora.

E. Adaptación de aparato existente

[000325] En ciertas modalidades, los métodos de la invención incluyen métodos y aparatos para adaptar una mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico para permitir el contacto de la mezcla de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con dióxido de carbono. Como se usa en la presente, el término "adaptar" se utiliza en su sentido generalmente aceptado que significa instalar nuevas partes o partes modificadas o equipo en alguna cosa previamente fabricada o construida. La adaptación puede modificar el aparato existente para llevar a cabo una función para la cual no estaba destinado o fabricado originalmente. En el caso de la presente invención, una mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico que se va a adaptar no se construye originalmente para permitir adición de dióxido de carbono a una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante la mezcla de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. De manera preferente, la adaptación requiere poca o ninguna modificación del aparato existente. La adaptación puede incluir administración a un sitio donde se ubica una mezcla de cemento pre-existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, los componentes necesarios para modificar la mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico para permitir exposición de una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico

a dióxido de carbono durante la mezcla. Las instrucciones para uno o más procedimientos en la adaptación se pueden transportar o transmitir al sitio de la mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico.

[000326] La adaptación puede incluir instalación de componentes necesarios para modificar la mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico para permitir exposición de una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico a dióxido de carbono durante la mezcla. Los componentes pueden incluir un conducto para administración de dióxido de carbono a una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcladora de mezcla de cemento hidráulico. Los componentes pueden incluir además una fuente de dióxido de carbono. En sistemas en los cuales está incluido un sistema de control, la adaptación puede incluir modificación del sistema de control existente de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico para llevar a cabo funciones apropiadas a la adición controlada de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. También se pueden transmitir o enviar instrucciones para estas modificaciones al sitio de la mezcla de cemento existente, por ejemplo, controlador de aparato de mezcla de cemento hidráulico. Estas modificaciones pueden incluir, por ejemplo, modificación de los ajustes de controlador existente para incluir temporización de la apertura y cierre de una válvula de suministro de gas para administrar un flujo de dióxido de carbono a una velocidad de flujo predeterminada durante un tiempo predeterminado de la fuente de dióxido de carbono a través del conducto a la mezcladora en una cierta etapa en las operaciones del aparato de mezcla hidráulica. También pueden incluir modificación del controlador para modificar la

temporización y/o cantidad de adición de agua a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, adición de aditivo, o cualquier otro parámetro adecuado. Alternativamente, o además de la modificación del controlador existente, la adaptación puede incluir proporcionar uno o más nuevos controladores a la mezcla de cemento pre-existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico. La adaptación puede incluir transportar el nuevo controlador o controladores al sitio de la mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico. Además, se pueden instalar uno o más sensores, tal como sensores para detectar las posiciones y/o estados de uno o más componentes de la mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, que no eran parte del equipo fabricado original. La adaptación puede incluir transportar uno o más sensores al sitio de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico. Los accionadores, que pueden ser accionadores en el aparato adaptado, por ejemplo, una válvula de suministro de gas, o en el equipo original, por ejemplo, para mover o iniciar o detener diferentes operaciones tal como adición de agua, se puede conectar operativamente al controlador adaptado a fin de modificar las operaciones de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico de acuerdo con los requerimientos de puesta en contacto de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con dióxido de carbono. La adaptación puede incluir transportar uno o más sensores al sitio de la mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico.

III. Métodos

[000327] En ciertas modalidades, la invención proporciona métodos para producir una mezcla de cemento carbonatada en

una operación de mezcla en un aparato de mezcla de cemento que comprende (i) poner en contacto una mezcla de cemento que comprende aglutinante de cemento y agregado en una mezcladora con dióxido de carbono en tanto que se mezcla la mezcla de cemento; (ii) monitorizar una característica del aglutinante de cemento, la mezcla de cemento, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento o la mezcladora, o un componente del aparato de mezcla de cemento; y (iii) modular la exposición de la mezcla de cemento al dióxido de carbono u otra característica de la operación de mezcla de cemento, o una combinación de los mismos de acuerdo con la característica monitorizada en el paso (ii) en algunos casos, sólo se modula exposición de la mezcla de cemento al dióxido de carbono; en otros casos, sólo se modula otra característica de la mezcla de cemento; y en otros casos, se modulan ambas.

[000328] El aglutinante de cemento puede ser cualquier aglutinante de cemento adecuado como se describe en la presente, es decir, un aglutinante de cemento que contiene especies de calcio capaces de reaccionar con dióxido de carbono para formar productos de reacción estables o meta estables, tal como carbonatos. El aglutinante de cemento puede ser un cemento hidráulico, por ejemplo, un cemento Portland. “Mezcla de cemento”, como se utiliza ese término en la presente, incluye una mezcla de un aglutinante de cemento, por ejemplo, un cemento hidráulico, tal como un cemento Portland, con agregado; “concreto” es generalmente sinónimo con “mezcla de cemento” como se utilizan aquellos términos en la presente.

[000329] La operación de mezcla puede ser cualquier operación en la cual se produce una mezcla de cemento/concreto para cualquiera de los diferentes usos de esta mezcla. Por lo tanto, la operación de mezcla de cemento

puede ser una operación en una mezcladora en una instalación de precolado para producir una mezcla de cemento para uso en una operación de colado en seco o colado en húmedo. En otras modalidades, la operación de mezcla de cemento puede ser una operación en una mezcladora para una operación de mezcla final, por ejemplo, el tambor de un camión de mezcla final. También se puede utilizar cualquier otra operación de mezcla de cemento adecuada, siempre y cuando sea susceptible a adición de dióxido de carbono a la mezcla de cemento durante la mezcla, por ejemplo, una mezcladora en el sitio en un sitio de construcción. Por lo tanto, ejemplos adicionales pueden incluir amasadora o mezcladoras continuas de doble árbol que se pueden utilizar para concreto compactado con rodillos (mezcla seca) o CTB (base tratada con cemento) para estabilización de carreteras, que son aplicaciones de mezcla continua en lugar de por lotes. En tanto que algunos de los aspectos de proporción de agua pueden no ser alcanzables aún existe la posibilidad de añadir CO_2 durante el paso de mezcla.

[000330] La característica monitorizada puede ser cualquier característica adecuada que proporcione retroalimentación útil para informar modulación de exposición de la mezcla de cemento a dióxido de carbono u otra característica de la operación de mezcla de cemento. En ciertas modalidades, la característica monitorizada es (a) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (b) ubicación del aglutinante de cemento en el aparato de mezcla (por ejemplo, la coordinación de administración de dióxido de carbono con administración de aglutinante de cemento; se puede lograr al detectar la ubicación de la mezcla de cemento o al temporizar la secuencia de mezcla, que se puede introducir al controlador), (c) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la

mezcla de cemento, (d) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas que sale de la mezcladora, (e) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad del aparato de mezcla, (f) temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento, (g) reología de la mezcla de cemento, (h) contenido de humedad de la mezcla de cemento, o (i) pH de la mezcla de cemento. La ubicación del agua en el aparato de mezcla también se puede monitorizar, por ejemplo, para determinar cuándo finaliza la adición de agua. Estas características y métodos y aparatos para monitorizarlas son como se describe en otra parte en la presente. Cuando la masa del aglutinante de cemento se monitoriza, la cantidad total de dióxido de carbono que se va añadir a la mezcla de cemento se puede modular para corresponder con una exposición deseada predeterminada, por ejemplo, si se desea una exposición de cemento/dióxido de carbono al 1.5%, la masa exacta utilizada en un lote particular se puede utilizar para determinar el dióxido de carbono total, exacto que se va añadir al lote (que se puede utilizar tal cual, o se modifica en respuesta a otras características que se monitorizan). Cuando se monitoriza la ubicación del aglutinante de cemento o agua en el aparato de mezcla, la modulación del flujo de dióxido de carbono puede ser un apagado/encendido simple, por ejemplo, cuando se determina que la mezcla de cemento y/o agua tiene que introducirse a la mezcladora, puede activarse el flujo de dióxido de carbono en ese momento o en un momento predeterminado después de ese momento. En ciertas modalidades, la característica monitorizada en el paso II comprende contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas que sale de la mezcladora, por ejemplo, en un punto de fuga de la mezcladora. En esta modalidad, y/o en otras modalidades en las cuales se monitoriza un contenido de

dióxido de carbono de una mezcla de gas, se puede modular la exposición de la mezcla de cemento a dióxido de carbono cuando el contenido de dióxido de carbono de la mezcla de gas alcanza un valor umbral, y/o cuando la velocidad de cambio del contenido de dióxido de carbono de la mezcla de gas alcanza un valor umbral. La modulación puede ser un incremento en la velocidad de adición de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, una disminución, o incluso una parada total. En ciertas modalidades, la característica monitorizada es la temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento. Por ejemplo, se puede monitorizar una pared de la mezcladora para temperatura. Se puede modular la exposición de la mezcla de cemento a dióxido de carbono cuando la temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento, o una combinación de una pluralidad de estas temperaturas, alcanza un valor umbral y/o cuando la velocidad de cambio de la temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento alcanza un valor umbral. Si se utiliza la temperatura como una medición para el valor umbral, puede ser una temperatura absoluta, o puede ser una temperatura con respecto a la temperatura de la mezcla antes de la adición de dióxido de carbono, por ejemplo, una temperatura que es un cierto número de grados por encima de la temperatura de inicio, por ejemplo 10-50°C por encima del valor de inicio, o 10-40°C por encima del valor de inicio, o 10-30°C por encima del valor de inicio. La diferencia exacta entre la temperatura de inicio y la temperatura umbral se puede determinar para una receta de mezcla particular al determinar la relación entre carbonatación y temperatura para esa receta, o para ese aglutinante de cemento particular con respecto a otros componentes de esa receta.

[000331] En ciertas modalidades, se monitoriza una pluralidad de características del aglutinante de cemento, la mezcla de cemento, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento o la mezcladora, o un componente del aparato de la mezcla de cemento, por ejemplo, al menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, o 10 características, por ejemplo, al menos 2 características. En ciertas modalidades, se monitorizan al menos 2 de (a) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (b) ubicación del aglutinante de cemento en el aparato de mezcla, (c) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la mezcla de cemento, (d) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas que sale de la mezcladora, (e) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad del aparato de mezcla, (f) temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento, (g) reología de la mezcla de cemento, (h) contenido de humedad de la mezcla de cemento, o (i) pH de la mezcla de cemento. En ciertas modalidades, se monitorizan al menos 3 de (a) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (b) ubicación del aglutinante de cemento en el aparato de mezcla, (c) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la mezcla de cemento, (d) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas que sale de la mezcladora, (e) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad del aparato de mezcla, (f) temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento, (g) reología de la mezcla de cemento, (h) contenido de humedad de la mezcla de cemento, o (i) pH de la mezcla de cemento. En ciertas modalidades, se monitorizan al menos 4 de (a) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (b) ubicación del aglutinante de cemento

en el aparato de mezcla, (c) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la mezcla de cemento, (d) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas que sale de la mezcladora, (e) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad del aparato de mezcla, (f) temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento, (g) reología de la mezcla de cemento, (h) contenido de humedad de la mezcla de cemento, o (i) pH de la mezcla de cemento. En ciertas modalidades, se monitorizan al menos 5 de (a) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (b) ubicación del aglutinante de cemento en el aparato de mezcla, (c) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la mezcla de cemento, (d) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas que sale de la mezcladora, (e) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad del aparato de mezcla, (f) temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento, (g) reología de la mezcla de cemento, (h) contenido de humedad de la mezcla de cemento, o (i) pH de la mezcla de cemento. En ciertas modalidades, se monitorizan al menos 6 de (a) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (b) ubicación del aglutinante de cemento en el aparato de mezcla, (c) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la mezcla de cemento, (d) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas que sale de la mezcladora, (e) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad del aparato de mezcla, (f) temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento, (g) reología de la mezcla de cemento, (h) contenido de humedad de la mezcla de cemento, o (i) pH de la

mezcla de cemento.

[000332] En ciertas modalidades, el método además, o alternativamente, incluye monitorizar el tiempo de exposición de la mezcla de cemento al dióxido de carbono, la velocidad de flujo del dióxido de carbono, o ambos.

[000333] Cuando se modula una característica adicional de la operación de mezcla en respuesta a la monitorización, puede ser cualquier característica adecuada. En ciertas modalidades, la característica adicional incluye (a) sí o no se añade un aditivo a la mezcla de cemento, (b) tipo de aditivo añadido a la mezcla de cemento, (c) tiempo de adición de aditivo a la mezcla de cemento, (d) cantidad de aditivo añadido a la mezcla de cemento, (e) cantidad de agua añadida a la mezcla de cemento, (f) tiempo de adición de agua a la mezcla de cemento, (g) enfriamiento de la mezcla de cemento durante o después de la adición de dióxido de carbono, o una combinación de los mismos. Si se utiliza un aditivo, puede ser cualquier aditivo adecuado para ajustar una característica de la mezcla de cemento, por ejemplo, un aditivo para ajustar la reología (fluidez) de la mezcla, por ejemplo, en una operación de colado en húmedo. Se describen ejemplos de aditivos adecuados en la presente, por ejemplo, carbohidratos o derivados de carbohidratos, tal como gluconato de sodio.

[000334] Se puede monitorizar la característica, tal como por uno o más sensores. Estos sensores pueden transmitir información con respecto a la característica a un controlador que procesa la información y determina si se requiere una modulación de exposición de dióxido de carbono u otra característica de la operación de mezcla y, si es así, transmite una señal a uno o más accionadores para llevar a cabo la modulación de exposición de dióxido de carbono u otra característica de la operación de mezcla. El controlador

puede estar en el sitio de la operación de mezcla o puede ser remoto. Estos sensores, controladores, y accionadores se describen de forma adicional en otra parte en la presente. Si se utiliza un controlador, puede almacenar y procesar la información obtenida con respecto a la característica monitorizada en el paso (ii) para un primer lote de mezcla de cemento y ajusta las condiciones para un segundo lote posterior de mezcla de cemento con base en el procesamiento. Por ejemplo, el controlador puede ajustar la segunda receta de mezcla, por ejemplo, cantidad de agua utilizada o temporización de adición de agua, o exposición de dióxido de carbono en el segundo lote para mejorar la absorción de dióxido de carbono, o para mejorar la reología u otra característica de la mezcla, por ejemplo, por adición y/o cantidad de un aditivo, y/o temporización de adición del aditivo. En estas modalidades en las cuales se ajusta una o más condiciones de una segunda operación de mezcla, en ciertas modalidades la una o más condiciones de la segunda operación de mezcla incluyen (a) cantidad total de dióxido de carbono añadido a la mezcla de cemento, (b) velocidad de adición de dióxido de carbono, (c) tiempo de adición de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, (d) sí o no se añade un aditivo a la mezcla de cemento, (e) tipo de aditivo añadido a la mezcla de cemento, (f) temporización de adición de aditivo a la mezcla de cemento, (g) cantidad de aditivo añadido a la mezcla de cemento, (h) cantidad de agua añadida a la mezcla de cemento, (i) temporización de adición de agua a la mezcla de cemento, (j) enfriamiento de la mezcla de cemento durante o después de la adición de dióxido de carbono, o una combinación de los mismos. El controlador también puede recibir información adicional con respecto a una o más características de la mezcla de cemento medidas después de que la mezcla de cemento deja la mezcladora, y

ajusta condiciones para el segundo lote de mezcla de cemento con base en el procesamiento que comprende además la información adicional. En ciertas modalidades, la una o más características de la mezcla de cemento medidas después de que la mezcla deja la mezcladora comprende (a) reología de la mezcla de cemento en uno o más puntos de tiempo, (b) resistencia de la mezcla de cemento en uno o más puntos de tiempo, (c) encogimiento de la mezcla de cemento, (d) absorción de agua de la mezcla de cemento, o una combinación de los mismos. Otras características incluyen módulo elástico, densidad, y permeabilidad. Se puede medir cualquier otra característica adecuada. La característica monitorizada puede depender de los requerimientos de un lote de mezcla particular, aunque también se puede monitorizar otras características para proporcionar datos al controlador para lotes futuros en los cuales se requerirían aquellas características.

[000335] En modalidades en las cuales un controlador ajusta condiciones para una segunda operación de mezcla con base en la entrada de una primera operación de mezcla, la segunda operación de mezcla puede estar en la misma instalación de mezcla o puede estar en una instalación de mezcla diferente. En ciertas modalidades, el controlador, uno o más sensores, uno o más accionadores, o una combinación de los mismos, transmiten información con respecto a las características monitorizadas y condiciones moduladas a un controlador central que recibe información de una pluralidad de controladores, sensores, accionadores, o una combinación de los mismos, cada uno de los cuales transmite información de una mezcladora separada al controlador central. Por lo tanto, por ejemplo, una primera instalación de mezcla puede tener un primer sensor para monitorizar una primera característica de la primera operación, y una segunda instalación de mezcla

puede tener un segundo sensor para monitorizar una segunda característica de una segunda operación de mezcla, y ambas pueden enviar información con respecto a la primera y segunda característica a un controlador central, que procesa la información y transmite una señal a la primera, segunda, o incluso una tercera operación de mezcla para ajustar condiciones con base en la primera y segunda señal del primero y segundo sensor. Información adicional que convencionalmente se transmitirá al controlador central incluye componentes de mezcla para mezclas en la primera y segunda operaciones de mezcla (por ejemplo, tipo y cantidad de aglutinante de cemento, cantidad de agua y relación w/c, tipos y cantidades de agregado, si el agregado estaba húmedo o seco, aditivos, y similares), cantidad, velocidad y temporización de adición de dióxido de carbono, y cualquier otra característica de la primera y segunda operación de mezcla que serían útiles para determinar condiciones para modular operaciones de mezcla futuras con base en las características logradas en las operaciones de mezcla pasadas. Cualquier número de operaciones de mezcla puede introducir información al controlador central, por ejemplo, al menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, o 10 operaciones de mezcla, o al menos 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, o 100 operaciones de mezcla. El controlador central puede recibir también cualquier otra información que puede ser útil para informar decisiones con respecto a operaciones de mezcla para optimizar una o más condiciones de la operación de mezcla y/o la mezcla de cemento producida en la operación. Por ejemplo, el controlador central puede recibir información de experimentos llevados a cabo con diferentes tipos de cemento (por ejemplo, diferentes tipos de cemento Portland) carbonatado bajo diferentes condiciones, y/o expuesto a diferentes aditivos, tal como en diferentes tiempos, o a

diferentes concentraciones, y similares, y las características resultantes de la mezcla de cemento, tal como reología en uno o más puntos de tiempo, resistencia en uno o más puntos de tiempo, y similares. Cualquier otra información adecuada, tal como información publicada en literatura, u obtenida de cualquier otra forma, se puede introducir al controlador central. La información que recibe el controlador central se puede procesar y utilizar para ajustar operaciones de mezcla en cualquier operación de mezcla a la cual el controlador central puede transmitir salidas. Por lo tanto, el controlador central puede aprender de diferentes operaciones de mezcla para optimizar operaciones futuras y, con el paso del tiempo, puede acumular una base de datos para informar decisiones en operaciones de mezcla en un sitio de mezcla incluso si nunca se ha utilizado una receta de mezcla y/o condiciones particulares en ese sitio. El controlador central puede igualar las recetas de mezcla pasadas, o predecir condiciones óptimas para una nueva receta de mezcla con base en algoritmos adecuados utilizando información en su base de datos, o ambos.

[000336] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método de carbonatación de una mezcla de cemento en una mezcladora que no es completamente hermética de tal forma que logra una eficiencia de carbonatación de al menos 60, 70, 80, 90, 95, 96, 97, 98, o 99%, en donde la eficiencia de carbonatación es la cantidad de dióxido de carbono retenido en la mezcla de cemento por cantidad total de dióxido de carbono a la cual se expone la mezcla de cemento durante la mezcla. La mezcladora puede tener puntos de fuga y otros aspectos que la hacen menos hermética, como se ve en una mezcladora típica para una operación de precolado. La mezcladora puede ser, por ejemplo, el tambor de un camión de mezcla final que tiene una abertura grande a la atmósfera

exterior. Esta eficiencia se puede lograr, por ejemplo, al utilizar cualquiera de los métodos para modular la exposición de la mezcla de cemento a dióxido de carbono como se detalla anteriormente.

[000337] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para producir una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) poner en contacto una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende una primera porción de agua y cemento hidráulico en una mezcladora con dióxido de carbono en tanto que la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se mezcla; y (ii) añadir una segunda porción de agua a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. En algunos aspectos de esta modalidad, la puesta en contacto comprende dirigir un flujo de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. La segunda porción de agua se puede añadir a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante el flujo o después de que ha cesado el flujo, por ejemplo, después de que ha cesado el flujo. El método puede incluir añadir agregado a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico para producir una mezcla de concreto; en ciertas modalidades, el agregado comprende alguna parte de o toda la primera porción de agua. El agregado se puede añadir antes de la puesta en contacto con el dióxido de carbono. En ciertas modalidades, el método incluye (iii) añadir un aditivo a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como un aditivo que modula la fluidez de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. En modalidades en las cuales se añade un aditivo para modular la fluidez, el aditivo puede añadirse en una cantidad para lograr una fluidez en un intervalo predeterminado de fluidez, tal como un intervalo

predeterminado de fluidez que se determina al permitir un margen de la fluidez de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico sin la adición de dióxido de carbono. El aditivo se puede seleccionar del grupo que consiste de un súper plastificante de policarbonato, un HRWR de naftaleno, o cualquier combinación de los mismos. En ciertas modalidades, el aditivo contiene gluconato de sodio, sacarosa, glucosa, melaza, jarabe de maíz, EDTA, o una combinación de los mismos. En ciertas modalidades, el aditivo contiene gluconato de sodio. En ciertas modalidades, el aditivo contiene sacarosa. En ciertas modalidades, el aditivo contiene glucosa. En ciertas modalidades, el aditivo contiene melaza. En ciertas modalidades, el aditivo contiene jarabe de maíz. En ciertas modalidades, el aditivo contiene EDTA. En ciertas modalidades, la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico comprende cemento Portland. Sí o no la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico comprende cemento Portland, en ciertas modalidades la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende la primera porción de agua comprende una cantidad de agua de tal forma que la relación de agua a cemento (relación w/c) es igual a o menor que 0.5. En ciertas de estas modalidades, la primera porción de agua comprende una cantidad de agua de tal forma que la relación w/c está en el intervalo de 0.1 a 0.5. El dióxido de carbono al cual se expone la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico puede ser al menos 50% puro. La mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se puede poner en contacto con dióxido de carbono al hacer fluir dióxido de carbono sobre la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. El flujo de dióxido de carbono dirigido a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, superficie de la mezcla,

puede durar durante 5 minutos o menos, por ejemplo, el flujo de dióxido de carbono dirigido a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico puede durar 0.5-5 minutos. En ciertas modalidades, en las cuales se introduce dióxido de carbono sólido en la mezcla de cemento, el dióxido de carbono sólido se sublima a dióxido de carbono gaseoso y la administración puede extenderse a más de 20, 30, 40, 50, o 60 minutos. El método puede comprender además monitorizar una característica de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, un componente de una mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, o un componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, y modular el flujo de dióxido de carbono de acuerdo con la característica monitorizada. Por ejemplo, el método puede comprender además monitorizar una concentración de dióxido de carbono en una porción de gas adyacente a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como en una porción de gas en la mezcladora, o en una porción de gas fuera de la mezcladora, o ambos. La concentración de dióxido de carbono se puede monitorizar por un sensor. El sensor puede transmitir una señal a un controlador. El controlador puede procesar la señal y transmite una señal a un accionador de acuerdo con los resultados del procesamiento, tal como una válvula controlable para controlar el flujo de dióxido de carbono para ponerse en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. Además de, o en lugar del dióxido de carbono, se puede monitorizar una temperatura de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, la mezcladora, o de otro componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, se puede monitorizar la

temperatura de la mezcladora, o se puede monitorizar la temperatura de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico dentro de la mezcladora, o se puede monitorizar la temperatura de una porción de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que se transporta fuera de la mezcladora. La puesta en contacto de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con dióxido de carbono se puede modular de acuerdo con la temperatura monitorizada, por ejemplo, cuando se monitoriza la temperatura, o una combinación de temperaturas que se monitorizan, exceden un valor umbral. El valor umbral puede ser un valor determinado con respecto a la temperatura inicial de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico antes de adición de dióxido de carbono, tal como una temperatura umbral o intervalo de temperaturas con respecto a la temperatura inicial como se describe en la presente. Alternativamente, el valor umbral puede ser un valor absoluto. La temperatura se puede monitorizar por un sensor. El sensor puede transmitir una señal a un controlador. El controlador puede procesar la señal y transmitir una señal a un accionador de acuerdo con los resultados del procesamiento. El accionador puede comprender una válvula controlable para controlar el flujo de dióxido de carbono para ponerse en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. El método de puesta en contacto del cemento hidráulico con dióxido de carbono puede incluir, en cualquiera de estas modalidades, el control de la puesta en contacto de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con el dióxido de carbono se controla para lograr un nivel deseado de carbonatación, tal como un nivel como se describe en la presente, por ejemplo, al menos 0.5, 1, 2, 3, o 4%. En ciertas modalidades, la exposición de la mezcla de cemento a

dióxido de carbono se modula para proporcionar una eficiencia de absorción de dióxido de carbono de al menos 60, 70, 80, 90 95, 96, 97, 98, o 99%, por ejemplo, al menos 70%.

[000338] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para producir una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) poner en contacto una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende agua y cemento hidráulico en una mezcladora con dióxido de carbono en tanto que la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se mezcla, en donde el dióxido de carbono se pone en contacto con la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico al dirigir un flujo de dióxido de carbono en la superficie de la mezcla desde el exterior de la mezcla, y en donde el flujo dura menos de 5 minutos. En ciertas modalidades, la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico comprende agregado. La mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico puede comprender además un aditivo. En ciertas modalidades, la mezcladora es una mezcladora transportable, tal como un tambor de un camión de mezcla final. En ciertas modalidades, la mezcladora es una mezcladora para concreto precolado. El método puede comprender además controlar flujo de dióxido de carbono de acuerdo con retroalimentación de uno o más sensores que monitorizan una característica seleccionada del grupo que consiste de una característica de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, un componente de una mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, o un componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico.

[000339] En ciertas modalidades, la invención proporciona un

método para producir una mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) poner en contacto una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende agua y cemento hidráulico en una mezcladora con dióxido de carbono en tanto que la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se mezcla, en donde el dióxido de carbono se pone en contacto con la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico al dirigir un flujo de dióxido de carbono a la superficie de la mezcla desde el exterior de la mezcla, y en donde el dióxido de carbono es un componente de una mezcla gaseosa que comprende al menos 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, o 99% de dióxido de carbono, tal como al menos 50% de dióxido de carbono. En ciertas modalidades, el cemento hidráulico comprende agregado. En ciertas modalidades, el cemento hidráulico comprende un aditivo. En ciertas modalidades, la mezcladora es una mezcladora transportable, tal como un tambor de un camión de mezcla final. En ciertas modalidades, la mezcladora es una mezcladora para concreto precolado.

[000340] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para producir una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) poner en contacto una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en una mezcladora con dióxido de carbono en tanto que la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se mezcla; y (ii) añadir un aditivo a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. La puesta en contacto se puede lograr al dirigir un flujo de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. En ciertas modalidades, el aditivo es un aditivo que modula la fluidez de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. En ciertas de estas modalidades, el aditivo se puede añadir en

una cantidad para lograr una fluidez en un intervalo predeterminado de fluidez, tal como un intervalo predeterminado de fluidez determinado al permitir un margen de la fluidez de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico sin la adición de dióxido de carbono, por ejemplo, como se describe en otra parte en la presente. En ciertos aspectos de la cuarta modalidad, el aditivo se selecciona del grupo que consiste de un súper plastificante de policarbonato, un HRWR de naftaleno, o cualquier combinación de los mismos.

[000341] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para producir una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) poner en contacto una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en una mezcladora con dióxido de carbono en tanto que la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se mezcla, en donde el dióxido de carbono se expone a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en donde la relación w/c de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico es menor que o igual a 0.4. En ciertas modalidades, la puesta en contacto se logra al dirigir un flujo de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. En ciertos aspectos de esta invención, la relación w/c de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico es 0.05-0.4. El método puede comprender además monitorizar una característica de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, un componente de una mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, o un componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, y modular el flujo

de dióxido de carbono de acuerdo con la característica monitorizada. El método puede comprender (ii) añadir un aditivo a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, tal como un aditivo que modula la fluidez de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo un aditivo para modular la fluidez de tipo y/o cantidad como se describe en otra parte en la presente.

[000342] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para producir una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) poner en contacto una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en una mezcladora con dióxido de carbono en tanto que se mezcla la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en una primera ubicación, y (ii) transportar la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico a una segunda ubicación donde se utiliza la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. En ciertos aspectos de esta modalidad, la puesta en contacto se logra al dirigir un flujo de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. La segunda ubicación puede estar al menos 0.1 millas (0.160 km) de la primera ubicación. La segunda ubicación puede estar al menos 0.5 millas (0.80 km) de la primera ubicación. El método puede comprender monitorizar una característica de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, un componente de una mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, o un componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, y modular el flujo de dióxido de carbono de acuerdo con la característica monitorizada. El método puede

comprender (ii) añadir un aditivo a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico tal como un aditivo que modula la fluidez de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico.

[000343] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para producir una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) poner en contacto una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en una mezcladora con dióxido de carbono en tanto que la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se mezcla con un flujo de dióxido de carbono dirigido a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, (ii) monitorizar una característica de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, un componente de una mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, o un componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico; y (iii) modular la exposición de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico al dióxido de carbono de acuerdo con la característica mencionada en el paso (ii). El método puede comprender monitorizar una concentración de dióxido de carbono en una porción de gas adyacente a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, una porción de gas en la mezcladora, o una porción de gas fuera de la mezcladora. La concentración de dióxido de carbono se puede monitorizar por un sensor. El sensor puede transmitir una señal a un controlador. El controlador puede procesar la señal y transmitir una señal a un accionador de acuerdo con los resultados del procesamiento, por ejemplo, un accionador que comprende una válvula para controlar el flujo de dióxido de carbono para

ponerse en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. El método puede comprender monitorizar una temperatura de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, la mezcladora, o de otro componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, se monitoriza la mezcla de cemento hidráulico. Una temperatura de la mezcladora se puede monitorizar, o se puede monitorizar una temperatura de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico dentro de la mezcladora, o se puede monitorizar una temperatura de una porción de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que se transporta fuera de la mezcladora, o cualquier combinación de los mismos. La puesta en contacto de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con dióxido de carbono se puede modular de acuerdo con la temperatura monitorizada. La puesta en contacto de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con el dióxido de carbono se puede modular cuando la temperatura que se monitoriza, o una combinación de temperaturas que se monitorizan, exceden un valor umbral, tal como un valor determinado con respecto a la temperatura inicial de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico antes de la adición de dióxido de carbono, tal como un valor umbral como se describe en otra parte en la presente. Alternativamente, el valor umbral puede ser un valor absoluto. La temperatura se puede monitorizar por un sensor. El sensor puede transmitir una señal a un controlador. El controlador puede procesar la señal y transmitir una señal a un accionador de acuerdo con los resultados del procesamiento. El accionador puede comprender una válvula controlable para controlar el flujo de dióxido de carbono para ponerse en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico.

[000344] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método para producir una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) poner en contacto una primera porción de mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende un a primera porción de agua y cemento hidráulico en una mezcladora en tanto que la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico se mezcla; y (ii) añadir una segunda porción de mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico a la primera porción. En ciertos aspectos de esta modalidad, la puesta en contacto se logra al dirigir un flujo de dióxido de carbono a la primera porción de mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico.

[000345] En ciertas modalidades, la invención proporciona un método de adaptación de una mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico que comprende una mezcladora, que comprende conectar operativamente la mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico a un sistema para poner en contacto una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico dentro de la mezcladora con dióxido de carbono durante la mezcla de mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. En ciertos aspectos de esta modalidad, el sistema para poner en contacto la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en la mezcladora con dióxido de carbono comprende un sistema para dirigir un flujo de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante la mezcla de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. El método también puede comprender conectar operativamente una fuente de dióxido de carbono a un conducto para administración del dióxido de carbono a la mezcladora. El método también puede comprender conectar

operativamente el conducto a la mezcladora. El sistema puede comprender un accionador para modular la administración de dióxido de carbono de la fuente de dióxido de carbono a través del conducto. El sistema puede comprender un sistema de control para controlar el accionador, conectado operativamente al accionador. El sistema de control puede comprender un temporizador y un transmisor para enviar una señal al accionador con base en la temporización del temporizador. El método puede comprender poner en contacto el accionador con un sistema de control existente para la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico. El método puede comprender modificar el sistema de control existente para controlar el accionador. El accionador se puede conectar operativamente a o configurar para conectarse operativamente al conducto, mezcladora, un sistema de control para la mezcladora, o una fuente de dióxido de carbono, o una combinación de los mismos. El accionador puede controlar una válvula para controlar la administración de dióxido de carbono a la mezcladora. El método puede comprender añadir a la mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico uno o más sensores conectados operativamente a, o configurados para conectarse operativamente a, un sistema de control, para monitorizar una o más característica de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, un componente de la mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, o un componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, uno o más sensores si es un sensor para monitorizar concentración de dióxido de carbono de un gas o una temperatura.

IV. Aparato y Sistemas

[000346] En un aspecto, la invención proporciona aparato y sistemas. El aparato puede incluir uno o más de un conducto para suministrar dióxido de carbono de una fuente de dióxido de carbono a una mezcladora, una fuente de dióxido de carbono, una mezcladora, uno o más sensores, uno o más controladores, uno o más accionadores, todos como se describen en la presente.

[000347] Por ejemplo, en ciertas modalidades la invención proporciona un aparato para adición de dióxido de carbono a una mezcla que comprende cemento hidráulico, donde el aparato comprende una mezcladora para mezclar la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, y un sistema para administrar dióxido de carbono a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico en la mezcladora durante la mezcla. En ciertas modalidades, el sistema para administrar dióxido de carbono se configura para administrar dióxido de carbono a la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante la mezcla. El sistema puede incluir una fuente de dióxido de carbono, un conducto que conecta de forma operativa la fuente y la mezcladora para administración de dióxido de carbono a la mezcladora. Un sistema de medición para medir flujo de dióxido de carbono en el conducto, y una válvula ajustable para ajustar la velocidad de flujo. Además, el aparato puede incluir uno o más sensores para detectar contenido de dióxido de carbono del gas en la mezcladora, o fuera de la mezcladora. El aparato también puede incluir uno o más sensores para detectar la temperatura de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, o la mezcladora u otro componente. El aparato puede incluir además un controlador que se conecta operablemente al uno o más sensores, por ejemplo, a uno o más sensores de temperatura, uno o más sensores de dióxido de carbono, o una combinación

de los mismos, y que se configura para recibir datos del uno o más sensores. El controlador se puede configurar para mostrar los datos, por ejemplo, de tal forma que un operador humano puede ajustar el flujo u otros parámetros con base en los datos. El controlador se puede configurar para llevar a cabo una o más operaciones en los datos, y para enviar salida a uno o más accionadores con base en los resultados de la una o más operaciones. Por ejemplo, el controlador se puede configurar para enviar salida a una válvula ajustable que provoca que module el flujo del dióxido de carbono en el conducto, por ejemplo, para detener el flujo después de que se ha logrado una temperatura particular, o concentración de dióxido de carbono, o ambas.

[000348] En ciertas modalidades la invención proporciona un sistema para adaptar una mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico para permitir que se ponga en contacto dióxido de carbono con una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico durante la mezcla. El sistema también se puede configurar para transportarse de un sitio remoto del sitio de la mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico al sitio de la mezcla de cemento existente, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico.

[000349] En ciertas modalidades la invención proporciona un aparato para carbonatar una mezcla de cemento que comprende un aglutinante de cemento y agregado en un aparato de mezcla de cemento durante una operación de mezcla, que comprende (i) una mezcladora para mezclar la mezcla de cemento; (ii) un sistema para poner en contacto la mezcla de cemento en la mezcladora con dióxido de carbono conectado operativamente a la mezcladora y que comprende un accionador para modular un flujo de dióxido de carbono a la mezcladora; (iii) un sensor

colocado y configurado para monitorizar una característica de la operación de mezcla; y para transmitir información con respecto a la característica a un controlador; (iv) el controlador, en donde el controlador se configura (por ejemplo, programa) para procesar la información y determinar si o no y/o a que grado se debe modular el flujo de dióxido de carbono a la mezcladora y para transmitir una señal al accionador para modular el flujo de dióxido de carbono a la mezcladora. Además de, o en lugar de, el accionador para modular un flujo de dióxido de carbono, el sistema puede incluir uno o más accionadores para modular otra característica del sistema, y el controlador se puede configurar para determinar si o no y a qué grado se debe modular la otra característica, y transmite una señal al accionador para modular la otra característica.

[000350] La mezcladora puede ser cualquier mezcladora adecuada siempre y cuando se pueda configurar con los elementos restantes del aparato, tal como mezcladoras descritas en la presente. En ciertas modalidades, la mezcladora es una mezcladora estacionaria, tal como una mezcladora utilizada en una operación de precolado. En ciertas modalidades, la mezcladora es una mezcladora transportable, tal como el tambor de un camión de mezcla final. En modalidades en la cuales la mezcladora es transportable, uno o más de los elementos del sistema de control para poner en contacto la mezcla de cemento con dióxido de carbono, detección de una característica, control de una o más características tal como flujo de dióxido de carbono, y accionadores, se pueden configurar para transportarse junto con la mezcladora, o se pueden configurar para que sean desmontables de la mezcladora, por ejemplo, para permanecer en una estación de procesamiento por lotes para un camión de mezcla final. Ver, por ejemplo Figuras 3 y

4, que muestra elementos del sistema de administración de dióxido de carbono ya sea en forma no transportable o forma transportable. Los elementos del sistema de control pueden ser similarmente transportables o no transportables. Se apreciará que algunas partes del sistema se pueden transportar en tanto que otras permanecen en, por ejemplo la estación de procesamiento por lotes. Por ejemplo, todo el dióxido de carbono se puede administrar en la estación de procesamiento por lotes pero ciertas características de la mezcla de cemento, por ejemplo, reología, se pueden monitorizar en tanto que el camión está en ruta al sitio de trabajo, y, si es necesario, la mezcla de cemento se puede modular con base en la monitorización, por ejemplo, por adición de un aditivo, o agua, etc.

[000351] El sistema para poner en contacto la mezcla de cemento en la mezcladora con dióxido de carbono puede ser cualquier sistema adecuado, tal como los sistemas descritos en la presente. En ciertas modalidades, el sistema se configura para administrar dióxido de carbono gaseoso a la mezcla de cemento. En ciertas modalidades, el sistema se configura para administrar dióxido de carbono líquido a la mezcla de cemento de tal forma que el dióxido de carbono líquido se convierte a dióxido de carbono gaseoso y sólido conforme se administra a la mezcla de cemento, como se describe en la presente. El sistema se puede configurar para administrar dióxido de carbono a la superficie de la mezcla de la mezcla de cemento, o debajo de la superficie, o una combinación de los mismos. En el caso de un camión de mezcla final, el sistema para poner en contacto el cemento en la mezcladora con dióxido de carbono puede compartir un conducto con el sistema de administración de agua, por una junta en T en el conducto, de tal forma que se puede administrar ya sea agua o dióxido de carbono a un conducto común final. Ver

ejemplos 2 y 6.

[000352] El sensor puede ser cualquier sensor adecuado siempre y cuando se configure y coloque para transmitir información relevante al controlador. En ciertas modalidades, la característica de la operación de mezcla que se monitoriza por el sensor comprende una característica del aglutinante de cemento, la mezcla de cemento, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento o la mezcladora, o un componente del aparato de mezcla de cemento. En ciertas modalidades, el sensor se configura y coloca para monitorizar (a) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (b) ubicación del aglutinante de cemento en el aparato de mezcla, (c) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la mezcla de cemento, (d) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas que sale de la mezcladora, (e) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad del aparato de mezcla, (f) temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento, (g) reología de la mezcla de cemento, (h) contenido de humedad de mezcla de cemento, o (i) pH de la mezcla de cemento. En ciertas modalidades, la característica monitorizada por el sensor comprende contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas que sale de la mezcladora; esto se puede monitorizar por un solo sensor o por una pluralidad de sensores colocados en diferentes ubicaciones de fuga, en cuyo caso el controlador utiliza información de la pluralidad de sensores. El controlador se puede configurar para enviar u na señal al accionador para modular el flujo de dióxido de carbono cuando el contenido de dióxido de carbono de la mezcla de gas alcanza un valor umbral. Alternativamente, o además, el controlador se puede configurar para enviar una señal al accionador para modular el flujo de dióxido de

carbono cuando una velocidad de cambio del contenido de dióxido de carbono de la mezcla de gas alcanza un valor umbral. En ciertas modalidades, la característica monitorizada por el sensor comprende la temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento. El controlador se puede configurar para enviar una señal al accionador para modular el flujo de dióxido de carbono cuando la temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento alcanza un valor umbral. Alternativamente, o además, el controlador se puede configurar para enviar una señal al accionador para modular el flujo de dióxido de carbono cuando una velocidad de cambio de la temperatura de la mezcla de cemento o un componente del aparato de mezcla en contacto con la mezcla de cemento alcanza un valor umbral.

[000353] En ciertas modalidades, el aparato comprende una pluralidad de sensores configurados para monitorizar una pluralidad de características del aglutinante de cemento, la mezcla de cemento, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento o la mezcladora, o un componente del aparato de mezcla de cemento por ejemplo, al menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, o 10 características, por ejemplo, al menos 2 de (i) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (ii) ubicación del aglutinante de cemento en la mezcladora, (iii) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la mezcla de cemento, (iv) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas que sale de la mezcladora, (v) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad de la mezcladora, (vi) temperatura de la mezcla de cemento o un componente en contacto con la mezcla de cemento, (vii) reología de la mezcla de cemento, (viii) contenido de humedad

de la mezcla de cemento. En ciertas modalidades, se configura una pluralidad de sensores y se coloca para monitorizar al menos 3 de (i) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (ii) ubicación del aglutinante de cemento en la mezcladora, (iii) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la mezcla de cemento, (iv) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas que sale de la mezcladora, (v) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad de la mezcladora, (vi) temperatura de la mezcla de cemento o un componente en contacto con la mezcla de cemento, (vii) reología de la mezcla de cemento, (viii) contenido de humedad de la mezcla de cemento. En ciertas modalidades, se configura una pluralidad de sensores y se coloca para monitorizar al menos 4 de (i) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (ii) ubicación del aglutinante de cemento en la mezcladora, (iii) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la mezcla de cemento, (iv) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas que sale de la mezcladora, (v) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad de la mezcladora, (vi) temperatura de la mezcla de cemento o un componente en contacto con la mezcla de cemento, (vii) reología de la mezcla de cemento, (viii) contenido de humedad de la mezcla de cemento. En ciertas modalidades, se configura una pluralidad de sensores y se coloca para monitorizar al menos 5 de (i) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (ii) ubicación del aglutinante de cemento en la mezcladora, (iii) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la mezcla de cemento, (iv) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas que sale de la mezcladora, (v) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad de la

mezcladora, (vi) temperatura de la mezcla de cemento o un componente en contacto con la mezcla de cemento, (vii) reología de la mezcla de cemento, (viii) contenido de humedad de la mezcla de cemento. En ciertas modalidades, se configura una pluralidad de sensores y se coloca para monitorizar al menos 6 de (i) masa de aglutinante de cemento añadido a la mezcla de cemento, (ii) ubicación del aglutinante de cemento en la mezcladora, (iii) contenido de dióxido de carbono de una mezcla de gas dentro de la mezcladora en contacto con la mezcla de cemento, (iv) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas que sale de la mezcladora, (v) contenido de dióxido de carbono de mezcla de gas en la vecindad de la mezcladora, (vi) temperatura de la mezcla de cemento o un componente en contacto con la mezcla de cemento, (vii) reología de la mezcla de cemento, (viii) contenido de humedad de la mezcla de cemento.

[000354] Además de estos sensores, o alternativamente, el aparato puede incluir uno o más sensores para monitorizar el tiempo de exposición de la mezcla de cemento al dióxido de carbono, la velocidad de flujo del dióxido de carbono, o ambos. Por ejemplo, un sensor puede indicar cuando se ha abierto una válvula para suministrar dióxido de carbono, y, por ejemplo, la velocidad de flujo del dióxido de carbono, y un circuito temporizador en el controlador puede determinar la dosis de dióxido de carbono total.

[000355] Se pueden alambrar sensores al controlador o pueden transmitir información de forma inalámbrica, o cualquier combinación de los mismos.

[000356] El aparato puede además, o alternativamente, incluir un accionador configurado para modular una característica adicional de la operación de mezcla, donde el accionador se conecta operativamente al controlador y en donde el controlador se configura para enviar una señal al

accionador para modular la característica adicional con base en el procesamiento de información de uno o más sensores. Este accionador se puede configurar para modular adición de aditivo a la mezcla de cemento, tipo de aditivo añadido a la mezcla de cemento, temporización de adición de aditivo a la mezcla de cemento, cantidad de aditivo añadido a la mezcla de cemento, cantidad de agua añadida a la mezcla de cemento, temporización de adición de agua a la mezcla de cemento, o enfriamiento de la mezcla de cemento durante o después de la adición de dióxido de carbono. En ciertas modalidades, el aparato comprende una pluralidad de estos accionadores, tal como al menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, u 8 de estos accionadores.

[000357] Los accionadores se pueden alambrar al controlador, o pueden recibir señales del controlador de forma inalámbrica.

[000358] El controlador puede ser cualquier controlador adecuado siempre y cuando sea capaz de configurarse para recibir información de uno o más sensores, procesar la información para determinar si se requiere una salida, y transmitir señales a uno o más accionadores, como sea necesario, con base en el procesamiento; por ejemplo, una computadora. Por ejemplo, el controlador puede ser un controlador lógico programable (PLC), opcionalmente una interfaz hombre-máquina (HMI), como se describe en otra parte en la presente. El controlador puede estar ubicado en el sitio con la mezcladora, o puede ser remoto, por ejemplo, un controlador remoto, físico o un controlador basado en la nube. En ciertas modalidades, el controlador se configura para almacenar y procesar la información obtenida con respecto a la característica monitorizada por el sensor para un primer lote de mezcla de cemento y para ajustar las condiciones para una segunda mezcla de cemento, posterior con base en el procesamiento para optimizar uno o más aspectos de

la operación de mezcla. Por ejemplo, el controlador puede ajustar la segunda receta de mezcla, por ejemplo, cantidad de agua utilizada o temporización de adición de agua, o exposición a dióxido de carbono en el segundo lote para mejorar la absorción de dióxido de carbono, o para mejorar la reología u otra característica de la mezcla. En estas modalidades en las cuales se ajusta una o más condiciones de una segunda operación de mezcla, en ciertas modalidades la uno o más condiciones de la segunda operación de mezcla incluye (a) cantidad total de dióxido de carbono añadido a la mezcla de cemento, (b) velocidad de adición de dióxido de carbono, (c) tiempo de adición de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, (d) si o no se añade un aditivo a la mezcla de cemento, (e) tipo de aditivo añadido a la mezcla de cemento, (f) temporización de adición de aditivo a la mezcla de cemento, (g) cantidad de aditivo añadido a la mezcla de cemento, (h) cantidad de agua añadida a la mezcla de cemento, (i) temporización de adición de agua a la mezcla de cemento, (j) enfriamiento de la mezcla de cemento durante o después de la adición de dióxido de carbono, o una combinación de los mismos. El controlador también puede recibir información adicional con respecto uno o más características de la mezcla de cemento medidas después de que la mezcla de cemento deja la mezcladora, y ajusta condiciones para el segundo lote de mezcla de cemento con base en el procesamiento que comprende además la información adicional. En ciertas modalidades, la una o más características de la mezcla de cemento medidas después de que la mezcla de cemento deja la mezcladora comprenden (a) reología de la mezcla de cemento en uno o más puntos de tiempo, (b) resistencia de la mezcla de cemento en uno o más puntos de tiempo, (c) encogimiento de la mezcla de cemento, (d) absorción de agua de la mezcla de cemento, o una combinación de los mismos. Otras características incluyen

contenido de agua, análisis de dióxido de carbono para confirmar absorción de dióxido de carbono, contenido de calcita (por ejemplo, como se determina por espectroscopia infrarroja), módulo elástico, densidad, y permeabilidad. Se puede medir cualquier otra característica adecuada.

[000359] En modalidades en las cuales un controlador ajusta condiciones para una segunda operación de mezcla con base en entrada de una primera operación de mezcla, la segunda operación de mezcla puede estar en la misma instalación de mezcla o puede estar en una instalación de mezcla diferente. En ciertas modalidades, el controlador, uno o más sensores, uno o más accionadores, o una combinación de los mismos, transmiten información con respecto a las características monitorizadas y condiciones moduladas a un controlador central que recibe información de una pluralidad de controladores, sensores, accionadores, o una combinación de los mismos, cada uno de los cuales transmite información de una operación de mezcla y mezcladora separadas al controlador central. En estas modalidades, el aparato puede incluir un segundo controlador que es el controlador central, o el controlador central puede ser el único controlador para el aparato. Por lo tanto, por ejemplo, una primera instalación de mezcla puede tener un primer sensor para monitorizar una primera característica de la primera operación de mezcla, y una segunda instalación de mezcla puede tener un segundo sensor para monitorizar una segunda característica de una segunda operación de mezcla, y ambas pueden enviar información con respecto a la primera y segunda característica a un controlador central, que procesa la información y transmite una señal a la primera, segunda, o incluso una tercera, cuarta, quinta, etc., operación de mezcla para ajustar condiciones con base en la primera y segunda señal del primer y segundo sensor. Información

adicional que se transmitirá convencionalmente al controlador central incluye componentes de mezcla para las mezclas en la primera y segunda operación de mezcla (por ejemplo, tipo y cantidad de aglutinante de cemento, cantidad de agua y relación w/c, tipos y cantidades de agregado, si el agregado estaba húmedo o seco, aditivos, y similares) cantidad, velocidad, y temporización de adición de dióxido de carbono, y cualquier otra característica de la primera y segunda operación de mezcla que serían útiles para determinar condiciones para modular operaciones de mezcla futuras con base en las características logradas en operaciones de mezcla pasadas. Cualquier número de operaciones de mezclas puede introducir información al controlador central, por ejemplo, al menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, o 10 operación de mezcla, o al menos 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, o 100 operaciones de mezcla. El controlador central también puede recibir cualquier otra información que puede ser adecuada para informar decisiones con respecto a operaciones de mezcla para optimizar una o más condiciones de la operación de mezcla y/o de la mezcla de cemento producida en la operación. Por ejemplo, el controlador central puede recibir información de experimentos llevados a cabo con diferentes tipos de cementos (por ejemplo, diferentes tipos de cementos Portland) carbonatados bajo diferentes condiciones, y/o expuestos a diferentes aditivos, tal como en diferentes momentos, o a diferentes concentraciones, y similares, y las características resultantes de la mezcla de cemento, tal como reología en uno o más puntos de tiempo, intensidad en uno o más puntos de tiempo, y similares. Cualquier otra información adecuada, tal como información publicada en literatura, u obtenida de cualquier forma, se puede introducir al controlador central, por ejemplo, de forma automática y/o a través de una interfaz hombre-máquina. La información que

recibe el controlador central se puede procesar y utilizar para ajustar operaciones de mezcla de cemento en cualquier operación de mezcla a la cual el controlador central puede transmitir salidas. Por lo tanto, el controlador central puede aprender de varias operaciones de mezcla para optimizar operaciones futuras y, con el paso del tiempo, puede acumular una base de datos para informar decisiones en operaciones de mezcla en un sitio de mezcla incluso si nunca se ha utilizado una receta de mezcla y/o condiciones particulares en ese sitio, o incluso predecir condiciones óptimas para una receta de mezcla que no se ha utilizado en cualquiera de los sitios a los cuales se conecta el controlador. El controlador central puede igualar recetas de mezcla pasadas, o predecir condiciones óptimas para una nueva receta de mezcla con base en algoritmos adecuados que utilizan información en su base de datos, o ambos.

[000360] En ciertas modalidades en las cuales el controlador ajusta una segunda operación de mezcla con base en características monitorizadas en una primera operación de mezcla, la una o más características de la operación de mezcla pueden comprender cantidad total de dióxido de carbono añadido a la mezcla de cemento, velocidad de adición de dióxido de carbono, tiempo de adición de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, sí o no se añade un aditivo a la mezcla de cemento, tipo de aditivo añadido a la mezcla de cemento, temporización de adición de aditivo a la mezcla de cemento, cantidad de aditivo añadido a la mezcla de cemento, cantidad de agua añadida a la mezcla de cemento, temporización de adición de agua a la mezcla de cemento, enfriamiento de la mezcla de cemento durante o después de la adición de dióxido de carbono, o una combinación de los mismos.

[000361] El controlador de puede configurar además, por ejemplo, programar, para recibir y procesar información con

respecto una o más características de la mezcla de cemento medidas después de que la mezcla de cemento deja la mezcladora, y para transmitir señales a uno o más accionadores configurados para ajustar condiciones para el segundo lote de mezcla de cemento con base en el procesamiento para mejorar contacto con el dióxido de carbono u otra característica de la operación de mezcla en la segunda operación de mezcla. La una o más características de la mezcla de cemento medidas después de que la mezcla de cemento deja la mezcladora pueden ser reología de la mezcla de cemento en uno o más puntos de tiempo, resistencia de la mezcla de cemento en uno o más puntos de tiempo, absorción de agua, encogimiento, y similares. La característica monitorizada puede depender de los requerimientos de un lote de mezcla particular, aunque también se pueden monitorizar otras características para proporcionar datos al controlador para lotes futuros en los cuales se requerirían aquellas características.

[000362] El uso de un aparato que incluye un sistema de control, ya sea para una operación de mezcla individual o para una pluralidad de operación de mezclas, puede producir muy altas eficiencias de absorción de dióxido de carbono (relación de dióxido de carbono o derivados de dióxido de carbono en la mezcla de cemento a dióxido de carbono total administrado). En ciertas modalidades, el aparato se configura para controlar uno o más accionadores de tal forma que se logra una eficiencia de carbonatación de al menos 60, 70, 80, 90, 95, 96, 97, 98, 99, o 99.5%. Estas altas eficiencias permiten mayor captura de gas invernadero sin fuga a la atmósfera, así como una operación más económica.

[000363] En ciertas modalidades, la invención proporciona un controlador para controlar una operación de mezcla de cemento que comprende carbonatación de la mezcla de cemento en una

mezcladora al exponer la mezcla de cemento a dióxido de carbono, donde el controlador comprende (i) un puerto de entrada para recibir una señal de un sensor que monitoriza una característica de la operación de mezcla de mezcla de cemento; (ii) un procesador para procesar la señal del sensor y formular una señal de salida para modular la exposición de la mezcla de cemento a dióxido de carbono o para modular una característica de la mezcla de cemento; y (iii) un puerto de salida para transmitir la señal de salida a un accionador que modula la exposición de la mezcla de cemento a dióxido de carbono o que modula una característica de la mezcla de cemento. Los puertos de entrada y salida se pueden configurar para alambrarse al sensor o accionador, o para recibir una señal inalámbrica, o se puede utilizar una combinación de estos puertos. En ciertas modalidades, el puerto de entrada se configura para recibir una pluralidad de señales de una pluralidad de sensores, y el procesador se configura para procesar la pluralidad de señales y formular una señal de salida para modular la exposición de la mezcla de cemento a dióxido de carbono o para modular una característica de la mezcla de cemento. Por lo tanto, el puerto de entrada puede incluir una pluralidad de puertos separados que se alambran a diferentes sensores, o un puerto inalámbrico que se configura para recibir señales de una pluralidad de sensores, o una combinación de uno o más puertos alámbricos e inalámbricos para uno o más sensores. El controlador se puede configurar para formular una pluralidad de señales de salida para modular la exposición de la mezcla de cemento a dióxido de carbono o para modular una característica de la mezcla de cemento y el puerto de salida se configura para transmitir la pluralidad de señales. De forma similar a un puerto de entrada para una pluralidad de señales, este puede ser un puerto de salida alámbrico con una pluralidad de puertos, un

puerto inalámbrico configurado para enviar una pluralidad de señales, o una combinación de puertos alámbricos e inalámbricos para enviar una o más señales cada uno.

[000364] El controlador se puede configurar para procesar cualquier señal de cualquier sensor adecuado, tal como se describe en la presente, y para enviar salida a cualquier accionador adecuado, tal como se describe en la presente. El controlador también se puede configurar para enviar información a un controlador central, o el mismo puede ser un controlador central que se configura para recibir entrada de, y enviar salida a, una pluralidad de operaciones de mezcla, también como se describe en la presente.

[000365] En ciertas modalidades, la invención proporciona una red que comprende una pluralidad de operaciones de mezcla de cemento espacialmente separadas, tal como al menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, o 10, o al menos 20, 30, 40, 50, 70, o 100 operaciones de mezcla separadas, cada una de las cuales comprende al menos un sensor para monitorizar al menos una característica de su operación, y que comprende una unidad de procesamiento central, a la cual cada sensor envía su información y que almacena y/o procesa la información. De forma alternativa, o además, se puede introducir información con respecto al menos una característica de la operación de mezcla de forma manual a la unidad de procesamiento central, por ejemplo, a través de una HMI. Una o más de las operaciones de mezcla puede ser una operación de mezcla en la cual se carbonata la mezcla de cemento, por ejemplo, como se describe en la presente, tal como una operación de mezcla en la cual se carbonata el cemento es decir, se expone a dióxido de carbono de tal forma que el dióxido de carbono se absorbe por la mezcla de cemento, durante la mezcla. Las operaciones de mezcla también pueden incluir sensores u otros elementos por los cuales se monitoriza una o más características de la

mezcla de cemento, antes, durante, o después de la mezcla, por ejemplo, también como se describe en la presente, que transmite información al procesador central. El procesador central también se puede configurar para sacar señales a una o más de las operaciones de mezcla, o a otras operaciones de mezcla, con base en el procesamiento de las señales.

[000366] En ciertas modalidades, la invención proporciona un aparato para producir una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) una mezcladora para mezclar una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico; y (ii) un sistema para exponer la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico a dióxido de carbono durante la mezcla, en donde el sistema se configura para administrar dióxido de carbono a la superficie de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico.

[000367] En ciertas modalidades, la invención proporciona un aparato para mezclar una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) una mezcladora para mezclar la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico; (ii) un sistema para poner en contacto la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con dióxido de carbono dirigido a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico conectado operativamente a la mezcladora; (iii) un sensor colocado y configurado para monitorizar una o más características de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, una mezcla de gas en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, un componente de una mezcla de cemento, por ejemplo, aparato de mezcla de cemento hidráulico, o un componente expuesto a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico; y (iv) un accionador conectado operativamente al sensor para modular el

flujo del dióxido de carbono con base en la característica monitorizada. En ciertos aspectos de esta modalidad, el sistema para poner en contacto la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con dióxido de carbono comprende un sistema para poner en contacto la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico con un flujo de dióxido de carbono dirigido a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico.

[000368] En ciertas modalidades, la invención proporciona un aparato para adaptar una mezcla de cemento existente, por ejemplo, mezcladora de cemento hidráulico que comprende un conducto configurado para conectarse operativamente a una fuente de dióxido de carbono y a la mezcladora, para administración de dióxido de carbono de la fuente a la mezcladora. El aparato puede comprender la fuente de dióxido de carbono. El aparato puede comprender un accionador para controlar administración de dióxido de carbono de una fuente de dióxido de carbono a través del conducto, en donde el accionador se conecta operativamente o se configura para conectarse operativamente a un sistema de control. El aparato puede comprender además el sistema de control. El sistema de control puede comprender un temporizador y un transmisor para enviar una señal al accionador con base en la temporización del temporizador. El sistema de control puede ser un sistema de control existente para la mezcladora. El aparato puede comprender instrucciones para modificar el sistema de control existente para controlar el accionador. El accionador se puede conectar operativamente a o configurar para conectarse operativamente al conducto, la mezcladora, un sistema control para la mezcladora, o a una fuente de dióxido de carbono, o una combinación de los mismos. El accionador puede controlar una válvula para controlar administración de dióxido de carbono a la mezcladora. El aparato puede comprender uno o

más sensores conectados operativamente a, o configurados para conectarse operativamente a, el sistema control para monitorizar una o más características de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, una mezcla de gas adyacente a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, o un componente en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. El uno o más sensores puede ser un sensor para monitorizar concentración de dióxido de carbono de un gas o una temperatura.

[000369] En ciertas modalidades, la invención proporciona un sistema para exponer una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico dentro de una mezcladora transportable a dióxido de carbono que comprende (i) una fuente de dióxido de carbono que es dióxido de carbono de más de 50% de pureza; (ii) una mezcladora transportable para mezclar una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico; y (iii) un conducto conectado operativamente a la fuente de dióxido de carbono y a la mezcladora para administrar dióxido de carbono de la fuente de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico. El sistema puede comprender además un accionador conectado operativamente al conducto para controlar el flujo del dióxido de carbono. El accionador puede comprender una válvula. El sistema puede comprender un controlador conectado operativamente al accionador, donde el controlador se configura para operar el accionador con base en parámetros predeterminados, en retroalimentación de uno o más sensores, o una combinación de los mismos. En ciertas modalidades la fuente de dióxido de carbono y el conducto se alojan en una unidad portátil que se puede mover de un sitio de mezcla final a otro, para proporcionar dióxido de carbono a más de un camión de mezcla final.

[000370] En ciertas modalidades, la invención proporciona un sistema para exponer una mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico dentro de una mezcladora a dióxido de carbono que comprende (i) una fuente de dióxido de carbono; (ii) la mezcladora para mezclar la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico; (iii) un conducto conectado operativamente a la fuente de dióxido de carbono y a la mezcladora para administración de dióxido de carbono de la fuente de dióxido de carbono a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico; (iv) un sensor colocado y configurado para monitorizar una o más características de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, una mezcla de gas adyacente a la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico, o un componente en contacto con la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico; y (v) un accionador conectado operativamente al sensor y al sistema para exponer la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico a dióxido de carbono, en donde el accionador se configura para modificar la exposición de la mezcla de cemento, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico al dióxido de carbono con base en la característica monitorizada por el sensor. La mezcladora puede ser una mezcladora estacionaria. La mezcladora puede ser una mezcladora transportable.

V. Composiciones

[000371] La invención también proporciona composiciones, por ejemplo, composiciones que se pueden producir por los métodos descritos en la presente. En ciertas modalidades la mezcla de concreto es fluida, es decir, capaz de mezclarse en la mezcladora y vaciarse para su uso propuesto. En ciertas modalidades la invención proporciona una composición que es una mezcla de concreto carbonatada, seca que es fluida y compactable, por ejemplo, suficientemente fluida y

compactable para colocarse en un molde para un producto de concreto precolado, que comprende cemento hidráulico, por ejemplo, OPC, y dióxido de carbono y/o productos de reacción de dióxido de carbono con el OPC y/u otros componentes de la mezcla, y opcionalmente, uno o más de agregados y un aditivo, tal como un aditivo para modular la compactibilidad de la mezcla de concreto carbonatada, y/o un acelerador de resistencia. En ciertas modalidades el aditivo comprende un retardante de fijación, tal como azúcar o derivado de azúcar, por ejemplo, gluconato de sodio. En ciertas modalidades la invención proporciona una composición que es una mezcla de concreto carbonatada, húmeda que es fluida y se puede vaciar, por ejemplo, suficientemente fluida para vaciarse en un molde en un sitio de construcción, que comprende cemento hidráulico, por ejemplo, OPC, y dióxido de carbono y/o productos de reacción de dióxido de carbono con el OPC y/u otros componentes de la mezcla, y, opcionalmente, uno o más de agregados y un aditivo, tal como un aditivo para modular la fluidez de la mezcla de concreto carbonatada, y/o acelerador de resistencia, en ciertas modalidades el aditivo comprende un retardante de fijación, tal como azúcar o derivado de azúcar, por ejemplo, gluconato de sodio.

[000372] En algunos métodos, se añade dióxido de carbono sólido (hielo seco) a la mezcla de cemento, que produce una composición que comprende una mezcla de cemento, tal como una mezcla de cemento hidráulico tal como concreto, y dióxido de carbono sólido. El dióxido de carbono sólido puede estar presente en una cantidad de más de 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.7, 2.0, o 2.5% bwc, o 0.01-5%, 0.01-2%, 0.01-1%, 0.01-0.5%, 0.1-5%, 0.1-2%, 0.1-1%, o 0.1-0.5%. En ciertas modalidades la invención proporciona una mezcla de cemento que comprende dióxido de carbono gaseoso o productos de reacción de dióxido

de carbono, tal como carbonatos, y dióxido de carbono sólido. El dióxido de carbono sólido puede estar presente en una cantidad de más de 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.7, 2.0, o 2.5% bwc o 0.01-5%, 0.01-2%, 0.01-1%, 0.01-0.5%, 0.1-5%, 0.1-2%, 0.1-1%, o 0.1-0.5%. El dióxido de carbono gaseoso o productos de reacción de dióxido de carbono pueden estar presentes en una cantidad de más de 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.7, 2.0, o 2.5% bwc, o 0.01-5%, 0.01-2%, 0.01-1%, 0.01-0.5%, 0.1-5%, 0.1-2%, 0.1-1%, o 0.1-0.5%. Lo productos de reacción de dióxido de carbono incluyen ácido carbónico, bicarbonato, y todas las formas de carbonato de calcio (por ejemplo, carbonato de calcio amorfo, vaterita, aragonita, y calcita), así como otros productos formados por la reacción de dióxido de carbono con diferente componentes de la mezcla de cemento. El dióxido de carbono sólido se puede añadir como un bloque individual, o uno o más bloques, tal como más de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 50, o 100 blocks. En algunas modalidades, el dióxido de carbono sólido se forma a partir de la liberación de dióxido de carbono líquido a la mezcla.

[000373] La mezcla de cemento puede contener un aditivo, tal como cualquier aditivo como se describe en la presente, por ejemplo, un carbohidrato o derivado de carbohidrato, tal como gluconato de sodio. El aditivo puede estar presente en una cantidad de más de 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.7, 2.0, o 2.5%; o más de 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.7, 2.0, o 2.5% y menos de 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.7, 2.0, 2.5 o 3.0%, por ejemplo, cualquier intervalo que se puede expresar como mayor que y menor que la cantidades. Intervalos de ejemplo incluyen

0.01-3.0%, 0.01-1.5%, 0.01-1%, 0.01-0.5%, 0.01-0.4%, 0.01-0.2%, 0.01-0.1%, 0.1-3.0%, 0.1-1.5%, 0.1-1%, 0.1-0.5%, 0.1-0.4%, 0.1-0.2%, o 0.1-0.1%.

[000374] Se ha encontrado que la adición de dióxido de carbono a una mezcla de cemento durante la mezcla da por resultado la formación de nanocristales de carbonato de calcio. Trabajos anteriores han mostrado que la adición de carbonato de calcio nanocristalino, exógeno (por ejemplo, carbonato de calcio con un tamaño de partícula en un intervalo de 50-120 nm) a una mezcla de concreto mejoró la hidratación de la mezcla; sin embargo, cuando se utiliza carbonato de calcio suministrado de forma exógena, se necesita una gran cantidad, tal como 10% bwc, para lograr el efecto deseado, probablemente debido a la aglutinación de los nanocristales añadidos. En contraste, los nanocristales de carbonato de calcio se pueden formar in situ, sin aglutinación, y por lo tanto se puede lograr una mucho mayor dispersión; es decir, nanocristales homogéneamente dispersos en comparación con dispersión con aglutinación. Sin que esté ligado por la teoría, es posible que la mejora de desempeño observada debido a la formación de productos de reacción de carbonato en algunas mezclas de concreto de carbonato es análoga al crecimiento de una adición de $CaCO_3$ de nanopartículas, ***in situ*** que actuaría como sitio de nucleación e impactaría el desarrollo posterior del producto de hidratación.

[000375] Por lo tanto, por ejemplo, en ciertas modalidades, la incidencia de nanocristales individuales, discretos de carbonato de calcio de menos de 500 nm, o menos de 400 nm, o menos de 300 nm, o menos de 200 nm de tamaño de partícula, tal como nanocristales homogéneamente dispersos sin aglutinación, o sin aglutinación sustancial, puede ser más de 10, 20, 30, 40, 50, 60, u 80% de carbonato de calcio en la

composición. “Tamaño de partícula” se refiere a la longitud de la dimensión más larga de los cristales, y se puede determinar, por ejemplo, por microscopia electrónica de barrido. El carbonato de calcio puede comprender menos de 5%, 4%, 3%, 2.5%, 2.0%, 1.9%, 1.8%, 1.7%, 1.6% 1.5%, 1.4%, 1.3%, 1.2%, 1.1%, 1.0%, 0.9%, 0.8%, 0.7%, 0.6%, 0.5%, 0.4%, 0.3%, 0.2%, o 0.1% bwc de la composición, por ejemplo, composición de mezcla de cemento tal como una mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, composición de concreto, en ciertas modalidades que comprende, por ejemplo, que comprende también, al menos 0.001%, 0.01%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, 0.7%, 0.8%, 0.9%, 1.0%, 1.1%, 1.2%, 1.3%, 1.4%, 1.5%, 1.6%, 1.7%, 1.8%, 1.9%, 2.0%, 2.1%, 2.2%, 2.3%, 2.4%, 2.5%, 2.7%, 3.0%, o 4.0% bwc de la composición, por ejemplo, la composición de mezcla de cemento tal como una mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, composición de concreto. Por ejemplo, en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-5.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-4.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-3.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades, el carbonato de calcio comprende 0.001-2.5% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-2.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-1.5% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-1.3% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-1.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-0.8% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-0.6% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-0.5% bwc de la composición; en ciertas

modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-0.4% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-0.3% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-0.2% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.001-0.1% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-5.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-4.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-3.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-2.5% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-2.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-1.5% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-1.3% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-1.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-0.8% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-0.6% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-0.4% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-0.3% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-0.2% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.01-0.1% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-5.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-4.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-3.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-2.5% bwc de la composición; en ciertas

modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-2.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-1.5% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-1.3% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-1.0% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-0.8% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-0.6% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-0.4% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-0.3% bwc de la composición; en ciertas modalidades el carbonato de calcio comprende 0.1-0.2% bwc de la composición. En ciertas modalidades, la composición es una composición de concreto que comprende cemento hidráulico, por ejemplo, cemento Portland, y agregado, donde el cemento hidráulico comprende menos de 35%, 30%, 25%, 23%, 20%, 18%, 15%, 13%, o 10% en peso de la composición de concreto, en ciertas modalidades que comprende, por ejemplo, que comprende también, al menos 5%, 8%, 10%, 13%, 15%, 20%, 23%, 25%, o 30% en peso de la composición de concreto. Por ejemplo, en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 5-35% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 5-30% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 5-25% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 5-23% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 5-20% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 5-18% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 5-15% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el

cemento hidráulico comprende 10-35% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 10-30% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 10-25% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 10-23% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 10-20% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 10-18% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 10-15% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 15-35% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 15-30% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 15-25% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 15-23% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 15-20% en peso de la composición de concreto; en ciertas modalidades el cemento hidráulico comprende 15-18% en peso de la composición de concreto. La composición puede ser una composición de concreto húmeda, por ejemplo, una composición de concreto fluida, o puede ser una composición de concreto que se ha sometido a fijación y/o endurecimiento. En ciertas modalidades, se puede asumir para propósitos de determinar contenido de carbonato de calcio de una composición que todo el dióxido de carbono en la composición se ha convertido a carbonato de calcio, y que un valor de una prueba para carbonatación se puede convertir a un valor de carbonato de calcio; por ejemplo, si una prueba de carbonatación para una mezcla de concreto muestra una absorción de dióxido de carbono de 0.6% bwc, se puede asumir que la composición es

1.4% bwc de carbonato de calcio. Se puede utilizar cualquier prueba adecuada para carbonatación, tal como aquellas descritas en la presente.

[000376] Conforme comienza la formación cristalina, el tamaño de cristal para al menos 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición puede ser menor que 100, 80, 60, 50, 40, o 30 nm. Además, la composición polimórfica de los cristales puede variar, dependiendo del tiempo que se haya hecho reaccionar la composición, la temporización de adición de dióxido de carbono, el uso de aditivos modificadores de cristales, y similares. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición es carbonato de calcio amorfo, o 0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición es vaterita, 0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición es aragonita, 0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición es calcita, o 0.01-99.9%, 0.1-99.9%, 1-99%, 5-99.9%, 10-99.9%, 30-99.9%, 50-99.9%, 0.01-90%, 0.1-90%, 1-90%, 5-90%, 10-90%, 30-90%, 50-90%, 0.01-80%, 0.1-80%, 1-80%, 5-80%, 10-80%, 30-80%, 50-80%. También puede estar presente cualquier combinación de carbonato de calcio amorfo, vaterita, aragonita, y/o calcita, por ejemplo a los porcentajes indicados.

[000377] Composiciones también pueden incluir uno o más materiales cementosos, complementarios (SCM) y/o reemplazos de cemento, como se describe en otra parte en la presente. En ciertas modalidades, una composición incluye, además de cemento, uno o más SCMS y/o reemplazo de cemento, por ejemplo

escoria de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, puzolanas naturales (tal como metacaolín, pizarra calcinada, arcilla calcinada, vidrio volcánico, ceniza o tosca zeolítica, ceniza de cáscara de arroz, tierra de diatomeas y pizarra calcinada), residuos de vidrio, caliza, plástico reciclado/residual, neumáticos de desecho, ceniza de residuos sólidos municipales, ceniza de madera, polvo de horno de cemento o arena de fundición, en cualquier porcentaje adecuado de la composición bwc, tal como 0.1-100%, o 1-100%, o 5-100%, o 10-100%, o 20-100%, o 30-100%, o 40-100%, o 50-100%, o 0.1-80%, o 1-80%, o 5-80%, o 10-80%, o 20-80%, o 30-80%, o 40-80%, o 50-80%,or 0.1-50%, o 1-50%, o 5-50%, o 10-50%, o 20-50%, o 30-50%, o 0.1-40%, o 1-40%, o 5-40%, o 10-40%, o 20-40% bwc. En ciertas modalidades, la composición incluye un SCM y en algunas de estas modalidades el SCM es ceniza volante, escoria, humo de sílice, o una puzolana natural. En ciertas modalidades, el SCM es ceniza volante. En ciertas modalidades, el SCM es escoria. Modalidades adicionales en las cuales se utiliza SCM se describen en otra parte en la presente.

[000378] Por lo tanto, en ciertas modalidades, la invención proporciona una mezcla de cemento fluida, por ejemplo, composición de mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) una mezcla de cemento húmeda, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende cemento hidráulico y agua en una relación w/c de no más de 0.4, o 0.3, o 0.2 y (ii) dióxido de carbono o producto de carbonatación en una cantidad de al menos 0.05% en peso de cemento (bwc). La composición está en un estado mezclable y/o fluido, por ejemplo, no ha progresado la fijación y el endurecimiento al punto donde la mezcla ya no se pueda mezclar por el aparato en el cual se forma. La composición puede comprender además (ii) un aditivo para modular la fluidez de la mezcla de cemento, por ejemplo,

mezcla de cemento hidráulico. El aditivo puede ser un superplastificante de policarbonato, un HRWR de naftaleno, o una combinación de los mismos.

[000379] En ciertas modalidades, la invención proporciona una mezcla de cemento fluida, por ejemplo, composición de mezcla de cemento hidráulico que comprende (i) una mezcla de cemento húmeda, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende cemento hidráulico y agua; (ii) dióxido de carbono o producto de carbonatación en una cantidad de al menos 0.05% bwc; (iii) un aditivo para modular la fluidez de la mezcla de cemento hidráulico, húmeda. En ciertas modalidades el aditivo comprende un superplastificante de policarbonato, un HRWR de naftaleno, o cualquier combinación de los mismos.

[000380] En ciertas modalidades, la invención proporciona una mezcla de cemento, por ejemplo, composición de mezcla de cemento hidráulico, que puede ser una mezcla de cemento fluida, que comprende (i) una mezcla de cemento húmeda, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende cemento hidráulico y agua; (ii) dióxido de carbono en forma sólida, líquida, y/o gaseosa, o en solución acuosa como ácido carbónico o bicarbonato, en una cantidad de 0.01-2% bwc; (iii) carbonato de calcio sólido en una cantidad de 0.01-2% bwc; y (iii) un material cementoso, complementario y/o reemplazo de cemento. En ciertas modalidades, el dióxido de carbono comprende dióxido de carbono en forma sólida. Durante la mezcla y el endurecimiento y fijación posteriores, se producen diferente composiciones intermedias, de tal forma que las composiciones iniciales pueden contener en su mayoría dióxido de carbono en forma gaseosa, líquida, sólida o en solución con poca formación de carbonato de calcio, y las composiciones posteriores pueden contener principalmente carbonato de calcio con poco dióxido de carbono en forma gaseosa, líquida, sólida o en solución. En ciertas

modalidades, el SCM y/o reemplazo de cemento comprende 0.1-50%, o 1-50%, o 5-50%, o 10-50%, o 20-50%, o 1-40%, o 5-40%, o 10-50%, o 20-40% bwc en la composición. En ciertas modalidades, el SCM y/o reemplazo de cemento es escoria de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, puzolanas naturales (tal como metacaolín, pizarra calcinada, arcilla calcinada, vidrio volcánico, ceniza volcánica o tosca volcánica zeolíticas, ceniza de cáscara de arroz, tierra de diatomeas y pizarra calcinada), caliza, residuos de vidrio, plástico reciclado/residual, neumáticos de desecho, ceniza de residuos sólidos municipales, ceniza de madera, polvo de horno de cemento, o arena de fundición, o una combinación de los mismos. En ciertas modalidades, un SCM se utiliza y en ciertas de estas modalidades, el SCM es escoria de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, o puzolana natural, o una combinación de los mismos. En ciertas modalidades, el SCM es escoria de alto horno. En ciertas modalidades, el SCM es ceniza volante. En ciertas modalidades, el SCM es humo de sílice. En ciertas modalidades, el SCM es una puzolana natural. En ciertas modalidades el cemento hidráulico es cemento Portland. La composición puede comprender además un aditivo. En ciertas modalidades, el aditivo es un carbohidrato o derivado de carbohidrato, tal como gluconato de sodio. El aditivo puede estar presente en cualquier concentración adecuada, tal como 0.01-2%, o 0.01-1%, o 0.01-0.5%, o 0.01-0.4%, o 0.01-0.3%, o 0.01-0.2%, o 0.01-0.1%. La composición polimórfica del carbonato de calcio puede incluir cualquiera de los polimorfos descritos en la presente. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición es carbonato de calcio amorfo, o 0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición es vaterita, o

0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición es aragonita, o 0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición es calcita, o 0.01-99.9%, 0.1-99.9%, 1-99%, 5-99.9%, 10-99.9%, 30-99.9%, 50-99.9%, 0.01-90%, 0.1-90%, 1-90%, 5-90%, 10-90%, 30-90%, 50-90%, 0.01-80%, 0.1-80%, 1-80%, 5-80%, 10-80%, 30-80%, 50-80%. Cualquier combinación de carbonato de calcio amorfo, vaterita, aragonita, y/o calcita también puede estar presente, por ejemplo a los porcentajes indicados.

[000381] En ciertas modalidades, la invención proporciona una mezcla de cemento endurecida, por ejemplo, composición de mezcla de cemento hidráulico tal como un concreto endurecido, que comprende (i) productos de reacción formados en una mezcla de cemento húmeda, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende cemento hidráulico y agua, tal como productos de reacción de una mezcla de cemento Portland; (iii) carbonato de calcio en una cantidad de 0.01-5% bwc, o 0.01-2% bwc, donde el carbonato de calcio está presente como cristales o partículas en donde al menos 10, 20, 50, 70, o 90% de las partículas son menores que 1 um, o menores que 500 nm, o menores que 400 nm, o menores que 200 nm en dimensión promedio; y (iii) un material cementoso, complementario y/o reemplazo de cemento y/o productos de reacción de material cementoso, complementario o reemplazo de cemento. En ciertas modalidades, el SCM y/o reemplazo de cemento comprende 0.1-50%, o 1-50%, o 5-50%, o 10-50%, o 20-50%, o 1-40%, o 5-40%, o 10-50%, o 20-40% bwc en la composición. En ciertas modalidades, el SCM y/o reemplazo de cemento es escoria de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, puzolanas naturales, (tal como metacaolín, pizarra calcinada, arcilla

calcinada, vidrio volcánico, ceniza volcánica o tosca volcánica zeolíticas, ceniza de cáscara de arroz, tierra de diatomeas y pizarra calcinada), caliza, residuos de vidrio, plástico reciclado/residual, neumáticos de desecho, ceniza de residuos sólidos municipales, ceniza de madera, polvo de horno de cemento o arena de fundición, o una combinación de los mismos. En ciertas modalidades, un SCM se utiliza y en ciertas modalidades, el SCM es escoria de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, o una puzolana natural, o una combinación de los mismos. En ciertas modalidades, el SCM es escoria de alto horno. En ciertas modalidades, el SCM es ceniza volante. En ciertas modalidades, el SCM es humo de sílice. En ciertas modalidades, el SCM es una puzolana natural. En ciertas modalidades el cemento hidráulico o productos de reacción es cemento Portland o productos de reacción de cemento Portland. La composición puede comprender además un aditivo. En ciertas modalidades, el aditivo es un carbohidrato o derivado de carbohidrato, tal como gluconato de sodio. El aditivo puede estar presente en cualquier concentración adecuada, tal como 0.01-2%, o 0.01-1%, o 0.01-0.5%, o 0.01-0.4%, o 0.01-0.3%, o 0.01-0.2%, o 0.01-0.1%. La composición polimórfica del carbonato de calcio puede incluir cualquiera de los polimorfos descritos en la presente. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición es carbonato de calcio amorfo, o 0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición es vaterita, o 0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del carbonato de calcio en la composición es aragonita, o 0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% del

carbonato de calcio en la composición es calcita, o 0.01-99.9%, 0.1-99.9%, 1-99%, 5-99.9%, 10-99.9%, 30-99.9%, 50-99.9%, 0.01-90%, 0.1-90%, 1-90%, 5-90%, 10-90%, 30-90%, 50-90%, 0.01-80%, 0.1-80%, 1-80%, 5-80%, 10-80%, 30-80%, 50-80%. Cualquier combinación de carbonato de calcio amorfo, vaterita, aragonita, y/o calcita también puede estar presente, por ejemplo a los porcentajes indicados.

[000382] En ciertas modalidades, la invención proporciona una mezcla de cemento, por ejemplo, composición de mezcla de cemento hidráulico, que puede ser una mezcla de cemento fluida, que comprende (i) una mezcla de cemento húmeda, por ejemplo, mezcla de cemento hidráulico que comprende cemento hidráulico y agua; (ii) carbonato de calcio que es nanocristalino donde la incidencia de nanocristales individuales, discretos de menos de 500 nm, o menos de 400 nm, o menos de 300 nm, o menos de 200 nm, o menos de 100 nm, o menos de 50 nm de tamaño de partícula es más del 10, 20, 30, 40, 50, 60, u 80% del carbonato de calcio; y (iii) un material cementoso, complementario y/o reemplazo de cemento. Se apreciará que el carácter nanocristalino de la composición como un todo se puede determinar al analizar el carácter nanocristalino de una o más muestras representativas. En ciertas modalidades, el carbonato de calcio nanocristalino comprende 0.01-5%, o 0.01-2%, o 0.01-1%, o 0.01-0.5%, o 0.01-0.4%, o 0.01-0.3%, o 0.01-0.02%, o 0.01-0.1% de la composición bwc. En ciertas modalidades, el SCM y/o reemplazo de cemento comprende 0.1-50%, o 1-50%, o 5-50%, o 10-50%, o 20-50%, o 1-40%, o 5-40%, o 10-50%, o 20-40% bwc. En ciertas modalidades, el SCM y/o reemplazo de cemento es escoria de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, puzolanas naturales (tal como metacaolín, pizarra calcinada, arcilla calcinada, vidrio volcánico, ceniza volcánica o tosca volcánica zeolíticas, ceniza de cáscara de arroz, tierra de

diatomeas y pizarra calcinada), caliza, residuos de vidrio, plástico reciclado/residual, neumáticos de desecho, cenizas de residuos sólidos municipales, ceniza de madera, polvo de horno de cemento o arena de fundición, o una combinación de los mismos. En ciertas modalidades, se utiliza un SCM y en ciertas de estas modalidades, el SCM es escoria de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, o una puzolana natural, o una combinación de los mismos. En ciertas modalidades, el SCM es escoria de alto horno. En ciertas modalidades, el SCM es ceniza volante. En ciertas modalidades, el SCM es humo de sílice. En ciertas modalidades, el SCM es una puzolana natural. En ciertas modalidades el cemento hidráulico es cemento Portland. La composición puede comprender además un aditivo. En ciertas modalidades, el aditivo es un carbohidrato o derivado de carbohidrato, tal como gluconato de sodio. El aditivo puede estar presente en cualquier concentración adecuada, tal como 0.01-2%, o 0.01-1%, o 0.01-0.5%, o 0.01-0.4%, o 0.01-0.3%, o 0.01-0.2%, o 0.01-0.1%. La composición polimórfica de nanocristales puede incluir cualquiera de los polimorfos descritos en la presente. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% de los nanocristales de carbonato de calcio en la composición son nanocristales de carbonato de calcio amorfo, o 0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% de los nanocristales de carbonato de calcio en la composición son nanocristales de vaterita, o 0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% de los nanocristales de carbonato de calcio en la composición son nanocristales de aragonita, o 0.01-50%, 0.1-50%, 1-50%, 5-50%, 10-50%, o 20-50%. En ciertas modalidades, al menos 1, 5, 10, 20, 30, 40, o 50% de los nanocristales de carbonato de calcio en la

composición son nanocristales de calcita, o 0.01-99.9%, 0.1-99.9%, 1-99%, 5-99.9%, 10-99.9%, 30-99.9%, 50-99.9%, 0.01-90%, 0.1-90%, 1-90%, 5-90%, 10-90%, 30-90%, 50-90%, 0.01-80%, 0.1-80%, 1-80%, 5-80%, 10-80%, 30-80%, 50-80%. También puede estar presente cualquier combinación de carbonato de calcio amorfo, vaterita, aragonita, y/o calcita, por ejemplo a los porcentajes indicados. Se apreciará que la constitución polimórfica de la composición como un todo se puede estimar por la constitución polimórfica de una o más muestras representativas de la composición.

Ejemplos

Ejemplo 1

[000383] Este ejemplo describe la puesta en contacto de una mezcla de cemento hidráulico, húmeda (concreto) con dióxido de carbono durante la mezcla de concreto.

[000384] Se llevaron a cabo una serie de pruebas para poner en contacto mezcla de cemento húmeda con dióxido de carbono durante la mezcla de concreto.

[000385] En un primer experimento, se mezclaron 20 kg de concreto de mezcla final, en sacos (Quikrete o Shaw), con agua en una mezcladora Hobart. El contenido de cemento del concreto no se conoció sino que se asumió que era 12-14%. Se utilizó un valor de 14% en los cálculos posteriores. Se añadieron 0.957 kg de agua, que fueron el 57% del agua final, para una relación w/c de 0.34 y se tapó la mezcladora con una tapa holgada. La mezcla de concreto se mezcló durante 1 minuto. Entonces se administró una mezcla de gas que contiene dióxido de carbono a una concentración de 99.5% (dióxido de carbono de grado comercial de Air Liquide, 99.5% de CO2, UN1013, CAS:124-38-9) para ponerse en contacto con la superficie de la mezcla de concreto a través de un tubo de aproximadamente 1/4 de pulgada (0.63 cm) de diámetro interno cuya abertura se colocó aproximadamente 10 cm de la

superficie de la mezcla de concreto, a una velocidad de flujo de 20 litros por minuto (LPM) durante 40-80 seg, para una cantidad total de dióxido de carbono de 13.3 L (40 seg) a 26.7 L (80 seg). El agua restante, 0.713 kg, se añadió para llevar a la mezcla a una relación w/c de 0.6 en tanto que se continuó mezclando la mezcla de concreto después de la adición de dióxido de carbono durante aproximadamente 2 minutos, durante un tiempo de mezcla total de aproximadamente 4 minutos, con la adición de dióxido de carbono durante 40, 60, u 80 segundos durante la mezcla. En general, el procedimiento de mezcla fue como sigue: mezclar mezcla seca y añadir primera adición de agua durante 15 segundos; mezclar el resto durante un minuto; administrar CO2 en tanto que se mezcla durante 40, 60 u 80 segundos; cuando la administración llevaba 40 segundos se dieron 20 segundos adicionales de mezcla después de CO2 para llevar la configuración a un minuto, cuando la administración llevaba 60 u 80 segundos comenzó el siguiente paso inmediatamente después de que se detuvo el CO2; añadir la segunda adición de agua y mezclar dos minutos. En una prueba se añadió un 5% de agua adicional. Estas pruebas se hicieron con mezcla pre-embolsada Shaw, que requirió más agua y se asumió que contenía más cemento (17%). Las dos adiciones de agua fueron de 1.15 kg (58% que da una w/c de 0.34, estimada) y 0.850 kg (para dar un total de 2.0 kg de agua y una w/c de 0.59, estimada). En el caso de un 5% de agua añadida solo se aplicó en la segunda adición (1.150 kg o 55%, entonces 0.950 kg para un total de 2.1 kg y una w/c de 0.62 estimada). Se prepararon mezclas de concreto de control con la misma relación w/c, final y tiempo de mezcla, pero sin ninguna adición de dióxido de carbono. Se vació el concreto mezclado en cilindros y se llevaron a cabo pruebas de resistencia en 7 días. Los resultados se muestran en las Figuras 4 y 5, donde las barras representan el intervalo de

datos (alto a bajo) y el punto en el medio corresponde al promedio, las mezclas de concreto que se habían expuesto a dióxido de carbono mostraron resistencias de 7 días comparables con los controles.

[000386] En un segundo experimento, se prepararon varios lotes. En cada lote, se mezclaron aproximadamente 20 kg de concreto de mezcla final en sacos (mezcla final en sacos BOMIX) con agua en una mezcladora Hobart. El contenido de cemento de concreto no conocía pero se asumió que era 20%. Se añadió una primera adición de agua de 0.6 kg (30% del agua total) para una relación w/c de 0.15 y se tapó la mezcladora con una tapa holgada. Se mezcló la mezcla de concreto durante un total de 1 minuto. Entonces se administró una mezcla de gas que contiene dióxido de carbono a una concentración de 99.5% (dióxido de carbono de grado comercial de Air Liquide, 99.5% de CO2, UN1013, CAS:124-38-9) para ponerse en contacto con la superficie de la mezcla de concreto a través de un tubo de aproximadamente 1/4 de pulgada (0.63 cm) de diámetro interno cuya abertura se colocó aproximadamente 10 cm de la superficie de la mezcla de concreto, a diferentes velocidades de flujo para diferente lotes, durante 60 segundos, para dar diferentes dosis de dióxido de carbono total para diferente lotes. El agua restante de 1.4 kg se añadió para llevar a la mezcla a una relación w/c de 0.5 en tanto que se continuó mezclando la mezcla de concreto después de la adición de dióxido de carbono durante aproximadamente 2 minutos, para un tiempo de mezcla total de aproximadamente 4 minutos, con la adición de dióxido de carbono durante 60 segundos durante la mezcla (pre-mezcla de un minuto, dosis de CO2 de 60 seg, entonces añadir el resto de agua y finalizar con dos minutos de mezcla durante 4 minutos totales). Se prepararon mezclas de concreto de control con la misma relación w/c final y tiempo de mezcla, pero sin ninguna adición de dióxido de

carbono. Se vació el concreto mezclado en cilindros de 5-4 kg (100 mm de diámetro por 200mm, o 4 pulgadas por 8 pulgadas) y se llevaron a cabo pruebas de resistencia en 7, 14, y 28 días. La dosis de dióxido de carbono se expresa de una forma por cilindro, y fue 5, 10, 15, 20, 25, o 30g por cilindro, dependiendo del lote, que fue 0.6, 1.3, 1.9, 2.5, 3.1, o 3.8% de dióxido de carbono bwc, respectivamente. Los resultados se muestran en las Figuras 6, 7, y 8. Las mezclas de concreto que se expusieron a dióxido de carbono mostraron resistencias a la compresión de 7 días comparables con los controles, con una tendencia a incrementar la resistencia de 7 días con el incremento de la dosis de dióxido de carbono (Figura 6). Las resistencias a la compresión de 14 días fueron comparables con o menores que lo controles en dos dosis, 15 y 20g (Figura 7). Las resistencias a la compresión de 28 días fueron comparables con el control, con una tendencia a incrementar la resistencia de 28 días con el incremento de la dosis de dióxido de carbono (Figura 8).

[000387] En un tercer experimento, e añadió agua adicional para compensar la fluidez reducida (asentamiento) observada en las mezclas de concreto puestas en contacto con dióxido de carbono en los experimentos anteriores. se prepararon mezclas de concreto como en el segundo experimento, excepto que las dosis de dióxido de carbono utilizadas fueron 15g por cilindro (1.9% de dióxido de carbono bwc). Además, en un conjunto de ambos lotes de dióxido de carbono y de control, se incrementó la segunda adición de agua para dar un agua total que se incrementó 4.7% con respecto a la adición de agua por defecto, se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión de 7, 14, y 28 días. Los resultados se muestran en la Figura 9. Incluso con el agua adicional la mezcla de concreto puesta en contacto con dióxido de carbono mostró una resistencia de 28 días comparable al control.

[000388] En un cuarto experimento, se investigaron diferentes cantidades de agua adicionales. Se prepararon mezclas de concreto como en el segundo experimento, excepto que las dosis de dióxido de carbono utilizadas fueron 10 o 15g por cilindro (1.3 o 1.9% de dióxido de carbono bwc, respectivamente). Además, en los conjuntos de ambos lotes de dióxido de carbono y de control, se incrementó la segunda adición de agua para dar un agua total que fue mezcla seca de 2100, 2200, 2300, 2400, o 2500 ml/20kg, en comparación con 2000 ml/kg para lotes de control. La cantidad de agua en la primera adición fue 60% del agua total por lo que la w/c al momento de administración de dióxido de carbono se incrementó conforme se incrementó el agua de mezcla. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión de 7 y 28 días. Los resultados se muestran en las Figuras 10-13. También se llevaron a cabo pruebas de asentamiento y lo resultados se muestran en la Figura 14. El agua adicional compensó parcialmente la disminución en el asentamiento con la adición de dióxido de carbono, especialmente a la dosis de dióxido de carbono menor. La resistencia de 7 días fue comparable con el control para la mayoría de dosis de agua.

Ejemplo 2

[000389] Este ejemplo describe adaptación de un camión de mezcla final existente con un sistema para poner en contacto una mezcla de concreto húmeda en el tambor del camión con dióxido de carbono en tanto que se mezcla la mezcla de concreto.

[000390] Se adaptó un camión de concreto de mezcla final para administración de dióxido de carbono a la mezcla de la mezcla de concreto. Se llevó un tubo de caucho flexible de aproximadamente 3/4 de pulgada (1.90 cm) de diámetro al sitio de mezcla final y se adaptó el camión de mezcla final al extender un entubado de caucho flexible para administración

de dióxido de carbono en paralelo con el entubado existente para administración de agua para permitir administración de dióxido de carbono al tambor del camión en el extremo alto del tambor en tanto que se mezcló una mezcla de cemento hidráulico, por ejemplo, concreto, en el tambor. Se colocó la abertura del tubo a 0.5 a 2 m del concreto en el camión. El camión era una mezcladora de transporte de seis metros cúbicos. Se unió una fuente de dióxido de carbono al entubado de caucho flexible. En este ejemplo, la fuente de dióxido de carbono era un suministro de dióxido de carbono líquido, calentador (etilenglicol), tanque de amortiguamiento de gas, equipo de medición de gas, y salida de gas, para suministrar dióxido de carbono de al menos 99% de concentración. El remolque de administración de gas tomó dióxido de carbono líquido, medido por un regulador de presión y lo hizo pasar a través de un intercambiador de calor donde glicol líquido caliente (anticongelante) lo calentó para cambiar el dióxido de carbono líquido a un gas. El gas se almacenó en los tanques receptores en un carro móvil que se puede sacar del remolque a una ubicación dentro de la planta. se utilizó una pantalla táctil para programar la dosis correcta de dióxido de carbono que se va a administrar durante el proceso de fabricación de concreto. Se utilizaron válvulas y sensores para medir el gas correctamente. Se utilizaron mangueras para conectar entre el remolque, carro y colectores y lo colectores se unieron a la máquina de fabricación de concreto para administrar la dosis de gas en la ubicación correcta. En remolques industriales la línea de gas tiene un diámetro de 3/4 de pulgada (1.90 cm).

[000391] En otra adaptación, de camión de mezcla final, se adaptó el camión al conectar la fuente de dióxido de carbono al tambor a través de la liberación de línea de agua. La línea de agua fue del tanque de agua al camión a una junta en

T. Al subir desde la T se envió el agua al tambor. Al bajar desde la T estaba un drenaje para vaciar la línea al suelo. Se detuvo el suministro de agua cuando no estaba en uso, esencialmente conectando la salida al tambor. Al reservar el suministro de gas a la salida, en este ejemplo, se evitó el enfoque de línea paralela y solo fue necesario utilizar un suministro de dióxido de carbono y un conducto para conectarse a la junta en T.

Ejemplo 3

[000392] Este ejemplo describe el uso de dióxido de carbono para ponerse en contacto con una mezcla de concreto en un camión de mezcla final.

[000393] Se utilizó el camión de mezcla final adaptado descrito en el ejemplo 2. Se añadieron los componentes de un lote de concreto al tambor del camión, que incluye mezcla de cemento y agregado. En tanto que se mezcló la mezcla de cemento hidráulico, se introdujo dióxido de carbono en una mezcla gaseosa que era al menos 99% dióxido de carbono al tambor a una velocidad de flujo de 750, 1500, o 2250 litros por minuto durante 180 segundos, para una la dosis de dióxido de carbono total de 0.5%, 1.0%, o 1.5% bwc, respectivamente. El tambor permaneció abierto a la atmósfera durante la adición de dióxido de carbono. Después de que se había detenido el flujo de dióxido de carbono, se añadió agua adicional a la mezcla de concreto para llevar la relación w/c del concreto a 0.45. el camión recibió el concreto y el dióxido de carbono en la zona de procesamiento por lotes, y se administró el concreto a una construcción adyacente donde se realizaron pruebas y se hicieron muestras. Las pruebas se llevaron a cabo para temperatura, asentamiento, y contenido de aire, y se fabricaron cilindros para resistencia y resistencia a la flexión.

[000394] En un segundo ejemplo de mezcla, se añadió dióxido

de carbono antes de que se añadiera cualquier agua adicional a la mezcla, y el agua en la mezcla durante la adición de dióxido de carbono fue debida al agua en la mezcla de agregado, que se había expuesto a agua antes de la adición. El agregado estaba húmedo y con la adición del agregado húmedo el contenido de agua de la mezcla de cemento hidráulico, resultante (concreto) fue una relación w/c de 0.17. Se logró el agua de mezcla final al añadir agua al camión de forma manual para lograr la consistencia deseada.

Ejemplo 4

[000395] Este ejemplo describe adaptación de una mezcladora de eje vertical, estacionaria para mezclar concreto para uso en una operación de concreto precolado con un sistema para poner en contacto la mezcla de concreto en la mezcladora con dióxido de carbono. Se unió una línea de gas a un suministro de dióxido de carbono y se pasó a una mezcladora de eje vertical para mezcla de concreto para administración a un molde. Se configuró la línea para permitir un flujo de dióxido de carbono controlable del dióxido de carbono a la mezcladora durante un tiempo predeterminado durante la mezcla de la mezcla húmeda.

Ejemplo 5

[000396] Este ejemplo describe el uso de dióxido de carbono para ponerse en contacto con una mezcla de concreto en una mezclador de eje vertical y que vacía el concreto en moldes para producto de concreto precolado. Una mezclador de eje vertical adaptada como se describe en el ejemplo 4 se utilizó para administrar dióxido de carbono a una mezcla de concreto húmeda en una mezcladora en tanto que se mezcló el concreto, durante 3 minutos, para obtener una dosis de dióxido de carbono de 0.5% a 2.5% bwc. La línea de gas estaba a aproximadamente 1 m del concreto.

Ejemplo 6

[000397] Este ejemplo describe el uso de dióxido de carbono para ponerse en contacto con mezcla de concreto en dos operaciones de mezcla final, diferente.

[000398] En una primera operación, se utilizó la siguiente mezcla:

30 MPa con un asentamiento máximo de 4 pulgadas (10.16 cm)

- Agregado de 20 mm – 2780 kg
- Arena – 2412 kg
- Arena lavada - 615 kg
- Cemento GU tipo 10 – 906 kg
- Ceniza volante – 192 kg
- Visco 2100 – 850 ml
- ViscoFlow – 1650 ml
- Agua – 334 litros

[000399] Se añadió el dióxido de carbono a través de una manguera de caucho de 3/4 de diámetro (1.90 cm) sujetada al lado del camión y colocada en el tambor de mezcla para administrar CO_2 a la superficie de la mezcla de concreto durante 180 segundos (controlado de forma manual), a baja, media o alta dosis, para lograr 0.43, 0.55, y 0.64% de CO_2 bwc, respectivamente. Debido a que el agregado estaba húmedo, se añadió CO_2 a la mezcla antes de la adición final de agua; se calculó que fue 0.16 la w/c de la mezcla cuando se añadió CO_2. El agua final se añadió inmediatamente después de la adición de CO_2.

[000400] La adición de CO_2 redujo en gran medida el asentamiento conforme avanzaba el tiempo de llegada al sitio, ver Figura 15. El concreto carbonatado mostró resistencia reducida en 7 días en comparación con el control, que incrementa la resistencia con el paso del tiempo por lo que para el día 56 el concreto carbonatado era más resistente que

el no carbonatado a todas las dosis probadas. Ver Figura 16. La adición de CO_2 provocó un incremento en la temperatura del cemento húmedo que fue dependiente de la dosis, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Efecto de dosis de CO_2 en temperatura, mezcla final

Mezcla	Temperatura (°C)
Control	15.2
0.43% de CO_2	17.0
0.55% de CO_2	18.4
0.64% de CO_2	19.4

[000401] También se llevaron a cabo pruebas rápidas de penetración de cloruro (RCPT, utilizando el método de prueba de la norma ASTM C1202 para indicación eléctrica de capacidad del concreto para resistir penetración de ion cloruro) y también se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la flexión. Ver Figura 17. Aunque la RCPT incrementó con la carbonatación (Figura 17A), ya que el concreto de control estaba en el extremo superior del bajo (considerado generalmente 1000 a 2000 coulomb) y el concreto carbonatado estaba en el extremo bajo de moderado (considerado generalmente que es de 2000 a 4000 coulomb) no se consideró que fuera significativa la diferencia. La resistencia a la flexión disminuyó ligeramente con la carbonatación (Figura 17B).

[000402] En una segunda operación, se prepararon mezclas para cumplir un objetivo de asentamiento predeterminado de 5 pulgadas (12.7 cm) con agua adicional añadida a lotes carbonatados según lo necesario para lograr asentamiento objetivo. Se utilizó la mezcla siguiente:

Arena – 770 kg/m^3

Piedra de 20 mm – 1030 kg/m^3

Cemento GU – 281 kg/m^3

Ceniza volante (F) – 55 kg/m^3

Agua – 165 L/m^3

Daracem 50 – 1400 ml/m^3

Darex II – 200 ml/m^3

Total – 2301 kg

El agua en los lotes de CO_2 se incrementó (cantidad desconocida añadida después de que finaliza inyección de CO_2) para lograr asentamiento objetivo.

[000403] Se introdujo CO_2 al tambor de mezcla del camión de mezcla final a través de una manguera conectada a una junta en T a una línea de agua existente que se descargó al tambor de mezcla. Como la operación anterior, debido a que el agregado estaba húmedo, se añadió CO_2 a la mezcla antes de la adición final de agua; se calculó que fue 0.16 la w/c de la mezcla cuando se añadió CO_2. Se añadió el agua final inmediatamente después de la adición de CO_2. Se utilizaron dos dosis de CO_2, 0.5% y 1.0% bwc, así como un control no carbonatado. Se añadió agua adicional al concreto carbonatado para lograr asentamiento objetivo. Se utilizó el concreto en una operación de precolado en el sitio y llegó 20-25 minutos después de que empezó la mezcla.

[000404] El uso de agua adicional llevó al asentamiento del concreto carbonatado a niveles comparables con el control no carbonatado, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 Asentamiento, temperatura, contenido de aire de concretos de mezcla final carbonatados y no carbonatados

Mezcla	Contenido de aire	Asentamiento (pulgadas)	Temperatura (°C)
Control	3.6%	5.5	23.9

0.5% de CO_2	4.2%	4.5	26.2
1.0% de CO_2	4.1%	5	28.6

[000405] Para el concreto carbonatado al 0.5%, dos mediciones de asentamiento posteriores, a 20 minutos y a 35 minutos después de la llegada al sitio de trabajo, ambas fueron de 5 pulgadas (12.7 cm). No se obtuvieron mediciones adicionales para la muestra al 1.0%.

[000406] Las resistencias a la compresión de los lotes se muestran en la Figura 18. La mezcla de 0.5% de CO_2 mostró 85% de resistencia en comparación con el control en 1 día equivalente a la resistencia en 7 y 28 días, y 106% de la resistencia de control en 56 días. La mezcla de 1.0% de CO_2 mostró 71% de la resistencia en comparación con el control, y 94% en 28 y 56 días. El agua adicional añadida para lograr el asentamiento objetivo probablemente redujo la resistencia a la compresión del concreto.

[000407] En una tercera operación, se utilizó un aditivo, gluconato de sodio, para restablecer la fluidez. Se utilizó la siguiente mezcla:

Arena – 770 kg/m^3

Piedra de 20 mm – 1030 kg/m^3

Cemento GU – 336 kg/m^3

Agua – 163 L/m^3

Daracem 55 – 1350 ml/m^3

[000408] Se introdujo CO_2 al tambor de mezcla del camión de mezcla final a través de una manguera conectada en una junta en T a una línea de agua existente que descargó al tambor de mezcla. Como la operación anterior, debido a que el agregado estaba húmedo, el CO_2 se añadió a la mezcla sin una primera adición de agua, y antes de la adición final de agua; se

calculó que fue 0.16 la w/c de la mezcla cuando se añadió CO_2. Se añadió el agua final inmediatamente después de la adición de CO_2. Se utilizaron dos dosis de CO_2, 1.0% y 1.5% bwc, así como un control no carbonatado. Se añadió gluconato de sodio al lote de 1.5% de CO_2 en dosis de 0.05% bwc, después de la adición de CO_2. El concreto se utilizó en una operación de precolado en el sitio y llegó 20-25 minutos después de que comenzó la mezcla.

[000409] El uso del gluconato de sodio llevó al asentamiento del concreto carbonatado al 1.0% hacia niveles comparables con el control no carbonatado, como se muestra en la tabla 4:

Tabla 4 Asentamiento, temperatura, y contenido de aire de concretos de mezcla final carbonatados y no carbonatados

Mezcla	Contenido de aire	Asentamiento (pulgadas)	Temperatura (°C)
Control	5.9%	7	25.8
1.0% de CO_2	5.9%	4	28.1
1.5% de CO_2	4.5%	3	28.6

[000410] Para el concreto carbonatado al 1.0% (con gluconato de sodio), una medición de asentamiento posterior, 20 minutos después de la llegada al sitio de trabajo, fue de 5.5 pulgadas (13.97 cm). Para el concreto carbonatado al 1.5% (sin gluconato de sodio), una medición de asentamiento posterior, 15 minutos después de la llegada al sitio de trabajo, fue 3.0 pulgadas (7.62 cm). La absorción de dióxido de carbono de la dosis de 1% fue 0.44% bwc, para una eficiencia de 44%. El dióxido de carbono de la dosis de 1.5% fue 1.69% bwc, o 113% de eficiencia.

[000411] Las resistencias a la compresión de los lotes se muestran en la Figura 19. El concreto al 1.0% (con gluconato de sodio) tuvo una resistencia a la compresión de 96, 107, y 103% de control en 1, 28 y 56 días, respectivamente. El concreto al 1.5% (sin gluconato de sodio) tuvo una resistencia a la compresión de 98, 117, y 109% de control en 1, 28 y 56 días, respectivamente. El concreto con 1.5% de CO_2 tuvo un asentamiento reducido pero aun fue aceptable.

[000412] Este ejemplo ilustra que la carbonatación puede reducir el asentamiento en mezcla húmeda utilizada en operaciones de mezcla final. Dependiendo de la mezcla, el asentamiento puede ser de tal forma que son necesarias medidas correctivas, tal como uso de agua adicional, uso de aditivo, o ambos; como se ilustra por este ejemplo, estas medidas pueden restaurar el asentamiento a niveles aceptables sin modificaciones mayores en la resistencia del concreto.

Ejemplo 7

[000413] Este ejemplo describe el uso de un aditivo para modular compactabilidad/resistencia de una mezcla de concreto de colado en seco. Se llevaron a cabo varias pruebas diferentes.

[000414] El trabajo ha identificado que la carbonatación de concreto fresco antes de la formación reducía la masa de un producto de mezcla seca, carbonatada, producido industrialmente en ciertas mezclas. Los productos de mezcla seca se producen a una dimensión constante por lo que una menor masa da por resultado menor densidad que puede contribuir a menor resistencia. Una investigación de laboratorio busco aditivos novedosos para abordar el problema de densidad. El gluconato de sodio se estudió en un programa de laboratorio. Convencionalmente, los azúcares de concreto se conoce que son retardantes de fijación. El trabajo investigó su uso junto con concreto fresco carbonatado para

ver si el gluconato de sodio actuaría con respecto a los productos de reacción provocando el problema de densidad.

[000415] En una primera prueba, el diseño de mezcla fue un concreto de mezcla seca con las siguientes proporciones.

- 1.75 kg de cemento
- 15.05 kg de agregado fino SSD (superficie seca y saturada)
- 7.00 kg de agregado grueso SSD (superficie seca y saturada)
- 1.19 kg de agua de mezcla
- El agua objetivo fue 6.05% en masa del concreto

[000416] Lo aditivos utilizados fueron: 1) Gluconato de sodio para mejorar densidad-se preparó como una solución de 36.8 g de gluconato de sodio por 100 ml de agua. Se dosificó al concreto como una masa de gluconato de sodio sólido en peso de cemento; 2) Rainbloc 80 – un aditivo de repelencia al agua para unidades de mampostería de concreto; y 3) ProCast 150 – un aditivo para uso en unidades de mampostería de concreto. Los dos aditivos comerciales se dosificaron con base en mL/100 kg de materiales cementosos según las especificaciones del fabricante.

[000417] Se mezclaron muestras de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Se introduce agregado primero y se mezcla hasta que sea homogéneo.
- Se introduce cemento y se mezcla durante 30 segundos hasta que sea homogéneo.
- Se añade agua de mezcla durante 15 segundos.
- El concreto se mezcla durante un total de 4 minutos comenzando a partir de la adición de agua.
- En el caso lotes de CO_2 se utilizó la siguiente secuencia modificada:

- Mezcla de 1 minuto de todos los materiales.
- Se graba la temperatura inicial.
- Se inyecta gas de CO_2 sobre la superficie de la mezcla de concreto a 100 LPM durante el tiempo requerido con base en el plan de prueba. El gas se retiene de forma nominal en el depósito mediante el uso de una tapa que se adapta el movimiento del mecanismo de mezcla. La mezcla procede durante la administración de gas.
- Se graba la temperatura final.
- Se introducen aditivos a la mezcla – siempre después de la carbonatación.
- Mezclar durante tiempo adicional para lograr un total de mezcla de 4 minutos.

[000418] Se formaron muestras de concreto de acuerdo con el siguiente procedimiento.

- Se formó concreto en moldes de cilindro de 100 mm de diámetro, estándar.
- Se introdujeron 3.5 kg de materiales de mezcla seca a los moldes y se compactaron utilizando un cilindro neumático diseñado de forma especial que aplica 95-100psi de presión directamente bajo la vibración en la sección transversal de la masa de concreto.
- Se utilizó una paleta de acero para remover cualquier exceso de material de la parte superior del molde y se niveló la superficie del espécimen de prueba.
- Se grabó la masa del cilindro.
- Se dejaron curar los especímenes de prueba en una solución de cal, de acuerdo con ASTM C192

[000419] El primer ensayo produjo cuatro concretos: 1) Control; 2) Control con 0.5% de gluconato de sodio; 3) CO_2; 4) CO_2 con 0.05% de gluconato de sodio. La masa de unidad de cilindro (masa de un volumen constante de concreto) se

entendió que era una estimación de la densidad del producto. Se produjeron 6 muestras.

[000420] Con la densidad de control como la estándar, el control con gluconato de sodio tuvo una densidad relativa de 98.8%, el concreto carbonatado fue 94.0% y el concreto carbonatado con gluconato de sodio fue 93.4%. Por lo tanto, la adición de 0.05% sg al control reduce la densidad del cilindro 1.2%, la aplicación de CO_2 reduce la densidad de cilindro 6%, y la adición de 0.05% de sg al concreto tratado con CO_2 no mejoró la densidad del cilindro. La dosis es demasiado baja.

[000421] En un segundo ensayo, se utilizaron las mismas condiciones para preparación de muestras como para el primer ensayo, con las siguientes condiciones de gluconato de sodio y carbonatación:

- No carbonatado con 0, 0.24% y 0.48% de gluconato de sodio
- CO_2 durante 1 minuto con 0.06%, 0.12%, 0.24% y 0.48% de gluconato de sodio
- CO_2 durante 2 minuto con 0.10%, 0.24%, 0.48% y 0.72% de gluconato de sodio

[000422] En la Figura 20 se muestran los efectos de diferentes dosis de gluconato de sodio en la densidad, que se puede considerar un indicador de resistencia. La aplicación de CO_2 disminuyó la masa de unidad de cilindro (indicador para densidad). El incremento de la cantidad de CO_2 absorbido por el concreto incrementó en consecuencia las cantidades de gluconato de sodio para compensar el inconveniente de densidad. El incremento de la dosis de gluconato de sodio incrementó la densidad de todos los concretos con respecto al intervalo considerado. La masa de unidad de cilindro, de concreto, de control incrementó 1.7% en una dosis de 0.48% de gluconato de sodio. Durante 1 minuto de CO_2 las dosis de

gluconato de sodio de 0.24% y 0.48% ambas dieron por resultado una masa de cilindro equivalente al control. Durante 2 minutos de CO_2 la masa de cilindro fue 99% del control a una dosis de gluconato de sodio de 0.48% y coincidió con la masa de cilindro de control cuando la dosis alcanzó 0.72%.

[000423] En un tercer ensayo, se utilizaron las mismas condiciones para preparación de muestras como para el primer ensayo, con carbonatación a 50 LPM durante 90 segundos y las siguientes condiciones de gluconato de sodio:

- Control
- CO_2 con 0.24% de gluconato de sodio
- CO_2 con 0.30% de gluconato de sodio
- CO_2 con 0.36% de gluconato de sodio
- CO_2 con 0.42% de gluconato de sodio

[000424] Se midió la masa de cilindro (densidad, asumiendo que todos los cilindros son del mismo volumen), y la resistencia a la compresión medida en 1, 3, y 7 días. Las densidades de cilindro se muestran en la Figura 21. La aplicación de CO_2 disminuyó la masa de unidad de cilindro (indicador para densidad). El incremento de la dosis de gluconato de sodio incrementó la densidad con respecto al intervalo considerado. El efecto en cierto modo estabilizado a las dosis más altas sugirió que la dosis preferida está potencialmente en el intervalo de 0.30% a 0.42%. Sin el gluconato la masa de cilindro de un producto carbonatado es aproximadamente 7% menos que la del control. Una dosis de gluconato de 0.30% lleva a la masa a 3% debajo del control. Una dosis de 0.42% lleva a la masa a 4% menos que la del control. Las resistencias a la compresión de las muestras tratadas con gluconato de sodio fueron comparables con aquellas de la muestra de control a dosis de 0.30% y

superiores.

[000425] En un cuarto ensayo, se utilizaron las mismas condiciones para preparación de muestras como para el primer ensayo. La carbonatación fue a 50 LPM durante 90 segundos y las siguientes condiciones de gluconato de sodio:

- Control
- CO_2
- CO_2 con 0.30% de gluconato de sodio
- CO_2 con 0.42% de gluconato de sodio

[000426] Todos los concretos contuvieron Rainbloc (0.32%). Se añadió con el agua de mezcla. Se midió la masa de unidad de cilindro (masa de un volumen constante) como una prueba de densidad de producto. Se produjeron 6 muestras. Se midió la resistencia en 1, 3 y 7 días. Las densidades de cilindro se muestran en la Figura 22. La aplicación de CO_2 redujo la densidad (por 6%) y la resistencia del producto de concreto. El uso de gluconato de sodio mejoró la densidad y la resistencia. 0.3% de gluconato de sodio fue suficiente para darle al concreto carbonatado 98.5% de la densidad del control y resistencia equivalente. 0.42% de gluconato de sodio produjeron concreto carbonatado con densidad y resistencia equivalentes al control. La dosis óptima para esta combinación de cemento y proporciones de diseño de mezcla parece que está en el orden de 0.42% de gluconato de sodio en peso de cemento.

[000427] En un cuarto ensayo, se utilizaron las mismas condiciones para preparación de muestras como para el primer ensayo. La carbonatación fue a 50 LPM durante 90 segundos y las siguientes condiciones de gluconato de sodio:

- Control
- CO_2
- CO_2 con 0.30% de gluconato de sodio

- CO_2 con 0.42% de gluconato de sodio
- CO_2 con 0.30% de gluconato de sodio con adición de CO_2 después de Procast.

[000428] En contraste con los días anteriores, el cemento fue una mezcla 70/30 de cemento blanco y OPC. Todo los lotes contuvieron Rainbloc (0.32%) y Procast 150 (0.64%). El Rainbloc se añadió con el agua de mezcla en tanto que el Procast 150 se trató tanto como parte del agua de mezcla así como una adición después del tratamiento de dióxido de carbono. Se midió la resistencia en 1 día (2 muestras) y 7 días (4 muestras). Las densidades de cilindro se muestran en la Figura 23. El tratamiento de carbonatación produjo un producto de concreto compactado que fue 7% menos denso que el control. Se mejoró la densidad al añadir gluconato de sodio. Una dosis de 0.30% de gluconato de sodio mejoró la densidad a 97% del control. Un incremento adicional a 0.42% produjo un producto de concreto con una densidad de 96%. En comparación con el ensayo anterior que no incluyó Procast, es claro que la dosis óptima es sensible a la presencia de otros aditivos. La adición de Procast después del tratamiento de dióxido de carbono proporcionó densidad de producto mejorada. Es importante la temporización de la adición de aditivos con respecto a la aplicación de dióxido de carbono.

[000429] Este ejemplo ilustra que un aditivo, gluconato de sodio, puede regresar la densidad y la resistencia a la compresión de muestras de mezcla seca, carbonatadas a aquellas de muestras no carbonatadas, que el efecto es dependiente de la dosis, y que la temporización de la administración de aditivos adicionales añadidos a la mezcla puede afectar el desarrollo de resistencia.

Ejemplo 8

[000430] Este ejemplo ilustra lo efectos de diferentes aditivos en la trabajabilidad de mezcla de mortero

carbonatada, preparada en cuanto a operación de colado en húmedo.

[000431] Se preparó una mezcla de mortero que contiene 535 g de cemento Portland (Holcim GU), 1350 g de arena, y 267.5 g de agua. Se introdujo gas de CO_2 a 20 LPM en tanto que se mezclaba. El tiempo de administración de CO_2 dependió de la absorción de CO_2 objetivo, por ejemplo, para lograr 1.1% bwc la administración duró de 3 a 4.5 minutos.

[000432] Se utilizaron tres aditivos: gluconato de sodio, fructuosa, glucoheptonato de sodio. Los aditivos se añadieron al mortero carbonatado en dosis de 0.05, 0.10 y 0.20% en peso del cemento. Las dosis reflejan masa sólida de aditivo administrado en una solución. Lo morteros se carbonataron en tanto que se mezclaron a una absorción de aproximadamente 1.9% en peso de cemento. El aditivo se añadió después de la carbonatación: después de la carbonatación se midió la temperatura de la muestra, entonces se añadió el aditivo y se remezcló la muestra para homogeneizarse.

[000433] Se midió el asentamiento del mortero producido como una evaluación de trabajabilidad. Se midió el asentamiento inmediatamente después del final de la mezcla utilizando equipos de prueba de cemento y mortero-aparato de prueba de transparencia de acrílico de mini-cono de asentamiento (NL SCIENTIFIC INSTRUMENTS SDN. BHD. Malasia). Se nivelaron las muestras en dos montacargas.

[000434] La carbonatación disminuyó en gran medida el asentamiento de mortero, en tanto que cada uno de los aditivos, añadidos después de la carbonatación, mejoró el asentamiento. El asentamiento carbonatado coincidió con el control tras la adición de 0.05% de fructuosa, 0.10% de gluconato de sodio o 0.2% de glucoheptonato de sodio. Ver Figura 24.

[000435] En una segunda prueba, se prepararon mezclas de

mortero y se carbonataron como anteriormente, y se añadió ya sea fructuosa o gluconato de sodio antes (Pre), durante (Medio), o después (Pos) de la carbonatación, y se midió la absorción de CO_2 así como el asentamiento en la mezcla de mortero. Se observó que la adición de aditivo ya sea antes o durante de la carbonatación no corrigió apreciablemente la disminución en el asentamiento provocada por la carbonatación, mientras que la adición de aditivo después de la carbonatación mejoró en gran medida el asentamiento (la mejora aparente en el asentamiento en el gluconato de sodio antes de la muestra se puede atribuir a la anormalmente baja absorción de dióxido de carbono de esta muestra). Esto fue cierto tanto para el gluconato de sodio como la fructuosa. Ver Figura 25.

Ejemplo 9

[000436] Este ejemplo ilustra el efecto del tiempo de adición de aditivo en la trabajabilidad y desarrollo de resistencia en una mezcla de mortero carbonatada, en cuanto una operación de colado en húmedo.

[000437] En una primera prueba, se preparó mezcla de mortero que contiene 535 g de cemento Portland (Holcim GU), 1350g de arena y 267.5 g de agua. Se introdujo gas de CO_2 a 20 LPM en tanto que se mezclaba. El tiempo de administración de CO_2 dependió de la absorción de CO_2 objetivo, por ejemplo, para lograr 1.1% bwc la administración duró de 3 a 4.5 minutos. Se crearon cubos de mortero con el método de prueba de la norma C109M-12 para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico. Todas las muestras contuvieron 0.10% bwc de PCE (Mighty 21ES por Kao Chemicals) para ayudar al colado de los cubos.

[000438] Se añadió gluconato de sodio ya sea antes o después de la carbonatación, a 0, 0.025, 0.05, y 0.075% bwc. Se midió la resistencia a la compresión en 24 horas y se comparó con

el control no carbonatado. Ver Figura 26. El gluconato de sodio añadido después de la carbonatación no afectó la resistencia a la compresión de 24 horas, mientras que el gluconato de sodio añadido antes de la carbonatación mejoró la resistencia a la compresión de 24 horas, pero se encontró que la mezcla era rígida. La mezcla con gluconato de sodio añadido después de la carbonatación era manejable, pero se impactó negativamente el desarrollo de resistencia.

[000439] En una segunda prueba, se preparó mortero y se carbonató con o sin gluconato de sodio, añadido antes o después de la carbonatación, como en la primera prueba, excepto que el cemento fue cemento Lehigh. Los resultados fueron similares a aquellos para el mortero preparado con cemento Holcim: cuando se añadió después del CO_2 el aditivo fue un retardante y dio por resultado menor resistencia en 24 horas. Cuando se añadió antes del CO_2 el efecto retardante no fue evidente y la resistencia de 24 horas fue ~90% del control con dosis de SG relativamente pequeñas.

Ejemplo 10

[000440] Este ejemplo ilustra los efectos de la temperatura del sistema en la absorción de dióxido de carbono en una mezcla húmeda.

[000441] En una primera prueba, se llevó a cabo un experimento para observar el efecto de la temperatura inicial de los materiales en el comportamiento de carbonatación de pasta de cemento fresco. Se consideraron tres temperaturas de inicio, objetivo, 7°C, 15°C y 25°C (las temperaturas reales fueron ±2°C). Las mediciones incluyen la temperatura de mortero, mini-asentamiento (asentamiento vertical y propagación lateral), absorción de dióxido de carbono, y resistencia de cubo.

[000442] Se preparó una mezcla de mortero que contiene 535 g de cemento Portland (Holcim GU), 1350 g de arena, y 267.5 g

de agua. La mezcla se llevó a 7, 15, o 25°C, y se introdujo gas de CO_2 a 20 LPM en tanto que se mezclaba. El tiempo de administración de CO_2 dependió de la absorción de CO_2 objetivo, por ejemplo, para lograr 1.1% bwc la administración duró 3 a 4.5 minutos. Se midió la absorción de CO_2 en diferentes puntos de tiempo. También se tomaron mediciones de asentamiento en diferentes puntos de tiempo.

[000443] El efecto de la temperatura en la tasa de absorción de dióxido de carbono se muestra en la Figura 27, donde la línea y los puntos superiores son para 25°C, la línea y los puntos medios son para 15°C, y la línea y lo puntos inferiores son para 7°C. La tasa de absorción de dióxido de carbono incrementó conforme disminuyó la temperatura; la velocidad fue 0.087% bwc/min a 7°C, 0.231 bwc/min a 15°C, y 0.331 bwc/min a 25°C. La tasa de absorción de dióxido de carbono incremento 278% conforme incrementó la temperatura de 7 a 25°C.

[000444] El efecto de la temperatura en el asentamiento se muestra en la Figura 43. Hubo poco efecto en la trabajabilidad con la absorción del mortero preparado a 7°C (línea y puntos superiores). La trabajabilidad del mortero preparado a 15°C disminuyó rápidamente con el incremento de la absorción (línea y puntos inferiores). La trabajabilidad del mortero preparado a 25°C estuvo entre aquella de los otros dos morteros que disminuyó con la absorción pero que toma absorciones más altas que la muestra de 15°C para alcanzar cero trabajabilidad (línea y puntos medios).

[000445] En un segundo experimento, se midió el efecto de la temperatura de dióxido de carbono (calentado o no calentado (frío) o forma (hielo seco), en algunos casos combinado con el uso de agua de hielo, en la absorción de dióxido de carbono en un sistema de pasta de cemento. El cemento, el agua de mezcla (no tratada o agua de hielo) y el aditivo se

mezclaron durante 30 segundos en la mezcladora, y se evaluaron las propiedades iniciales y la temperatura de la pasta. Entonces la pasta se carbonató en tanto que se mezclaba en la mezcladora. El carbonato en tanto que se mezcla en la mezcladora, utilizando gas calentado, gas no calentado (gas frío), o hielo seco. Evaluar las propiedades finales y la temperatura de la pasta. La Figura 28 muestra los resultados del estudio. Pareció que los gases calentados o fríos dieron absorción aproximadamente equivalente. Las mezclas con temperatura fría (agua de mezcla fría, hielo seco) no dieron absorción de dióxido de carbono mejorada.

Ejemplo 11

[000446] Este ejemplo ilustra el efecto benéfico de compuestos que contienen calcio añadidos antes de la carbonatación en desarrollo de resistencia de 24 horas en una mezcla de mortero carbonatada.

[000447] Se preparó una mezcla de mortero que contiene 535 g de cemento Portland (Holcim GU), 1350 g de arena, y 267.5 g de agua. Se introdujo gas de CO_2 a 20 LPM en tanto que se mezclaba. El tiempo de administración de CO_2 dependió de la absorción de CO_2 objetivo, por ejemplo, para lograr 1.1% bwc la administración duró de 3 a 4.5 minutos. Se crearon cubos de mortero con el método de prueba de la norma C109M-12 para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico. Se añadió un plastificante (0.10% de Mighty ES + 0.10% de Sika VF) con o sin $Ca(OH)_2$ (2.0% bwc) antes de la carbonatación, y se midieron los efectos en resistencia a la compresión de 24 horas. Los resultados se muestran en la Figura 29. La carbonatación disminuyó la resistencia de 24 horas del mortero. El uso de un plastificante mejoró la resistencia tanto de los morteros carbonatados como de control. La adición adicional de $Ca(OH)_2$ disminuyó la resistencia de 24 horas del producto de control pero

incrementó además la resistencia de 24 horas del producto carbonatado.

[000448] En un segundo experimento, se añadieron CaO (1.5%), NaOH (2.2%), $Ca(NO2)_2$, o $CaCl_2$ (3.0%) antes de la carbonatación a una mezcla de mortero como anteriormente. Los resultados se muestran en la Figura 30. Todos los compuestos de calcio mostraron beneficios para el desarrollo de resistencia en la mezcla de mortero carbonatada, con respecto a la mezcla de mortero carbonatada sin ningún aditivo añadido.

Ejemplo 12

[000449] Este ejemplo ilustra que puede ser importante la temporización de adición de un aditivo utilizado para propósitos convencionales, en este caso un agente inclusor de aire, con respecto a la carbonatación, para retener el efecto del aditivo.

[000450] Se utilizó una suspensión espesa de hidróxido de calcio como un sistema de prueba. Se mezclaron 20g de $Ca(OH)_2$ con 40 g de agua para formar una suspensión espesa. Se inyectó gas de CO_2 a la suspensión espesa a 5 LPM. Se midió la temperatura, un indicador de la absorción de dióxido de carbono, durante un período de 9 minutos. La suspensión espesa simple no contuvo ningún aditivo, en tanto que la suspensión espesa con un agente inclusor de aire contuvo 2.5% (en masa de $Ca(OH)_2$ de una solución líquida de hidrocarburos utilizada para el agente inclusor de aire en concreto (AirEx-L, Euclid Chemical). Se cuantificó el contenido de carbono utilizando un analizador de carbono por combustión y detección por infrarrojo (Eltra CS 800, Eltra GmbH, Alemania). Se calculó el incremento neto de % de CO_2 en comparación con un sistema no carbonatado, base que contenía los componentes.

[000451] Después de 10 minutos de la carbonatación, la

suspensión espesa sin un aditivo mostró un absorción de CO_2 que era 25.5% de la masa de sólido original, en tanto que la suspensión espesa con el aditivo inclusor de aire tuvo una absorción que fue 36.2%; por lo tanto, el aditivo de agente tensoactivo incremento la absorción de CO_2 por 42.1%.

[000452] En una segunda prueba, se probaron diferentes agentes tensoactivos para sus efectos en la absorción de CO_2. Se utilizó la mezcla de mortero estándar, como en el ejemplo 8, y se dosificaron agentes tensoactivos a 0.10% bwc. Se inyectó CO_2 durante 6 minutos durante la mezcla. Se midieron la temperatura inicial y la final y se midió el incremento neto en contenido de CO_2 como anteriormente. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5 Efectos de agentes tensoactivos en absorción de CO_2

Aditivo	Fuente	Temp inicial °C	Temp final °C	Cambio de temp	% de CO_2 neto	Incremento de CO_2
Ninguno		23.8	33	9.2	1.65	Referencia
Sunlight	Dish soap	24.1	41.4	17.3	2.89	75%
Sunlight	Dish soap	24.1	41.9	17.8	3.34	102%
MB AE-90	BASF	23.4	33	9.6	1.80	9%
Solar:w	Guelph Soap	23.8	35.2	11.4	2.17	31%
AirEX-L	Euclid	23.8	40.6	16.8	2.84	72%

[000453] En una tercera prueba, se expusieron lotes de mortero como anteriormente, que contienen 0.1% bwc de un agente inclusor de aire, tensoactivo (Euclid AirEx-L), o ningún agente tensoactivo (control) a CO_2 durante la mezcla durante 0, 2, 4 o 6 minutos, y se midió la absorción de CO_2. Hubo mayor absorción en el mortero tratado con agente incluir

de aire que en el mortero no tratado, de control en todos los puntos de tiempo, pero la mejora relativa fue mayor en los tiempos de baja exposición: hubo un incremento de 117% en la absorción de CO_2 en comparación con el control a 2 minutos, un incremento de 104% en la absorción de CO_2 a 4 minutos, y un incremento de 28% en la absorción de CO_2 a 6 minutos.

[000454] En una cuarta prueba, se probó el efecto de adición de CO_2 antes o después de la adición de un agente inclusor de aire en la densidad de mortero. Un peso de unidad menor indicó un mayor contenido de aire. Se utilizaron 4 agentes inclusores de aire: Euclid Air-Ex-L, Grace Darex ii, BASF MB-AE 90, y Grace Darex AEA ED. Los resultados se muestran en la Figura 31. En todos los casos, la adición del agente inclusor de aire antes del tratamiento con CO_2 condujo a un incremento en la densidad, mientras que la adición del agente inclusor de aire después del tratamiento con CO_2 dio por resultado una densidad igual que el mortero no tratado.

[000455] Este ejemplo ilustra que la temporización del tratamiento de CO_2 con respecto a la adición de un agente inclusor de aire afecta la tasa de absorción de CO_2 y la densidad. Si se desea mantener el efecto de densidad del agente inclusor de aire, se debe añadir después de la adición de CO_2. En algunos casos, se puede utilizar un enfoque de dos dosis donde se utiliza una dosis temprana de agente inclusor de aire para mejorar la absorción de CO_2, y entonces una dosis posterior para lograr efectos deseados en la densidad.

Ejemplo 13

[000456] Este ejemplo describe pruebas de carbonatación en una operación de mezcla seca precolada. Se llevaron a cabo pruebas en una instalación de precolado en la cual se carbonató una mezcla de concreto en diferentes etapas del proceso de colado, en algunos casos utilizando un aditivo de gluconato de sodio a diferentes concentraciones. Se midieron

los efectos de carbonatación, con y sin aditivo, en la resistencia y la absorción de agua.

[000457] Se utilizó la mezcla de concreto mostrada en la tabla 6.

Tabla 6 Diseño de bloque estándar

Componente	Nombre	Cantidad
Agregado grueso	Grava Birdseye	685 lb
Agregado fino	Arena Meyers Mat Torp	4320 lb
Agregado fino	Arena de sílice /Wedron 430	1250 lb
Cemento	Illinois Product	1000 lb
Aditivo	Rainbloc 80	50 oz
Contenido de agua objetivo		6.5%

[000458] Se añadieron los agregados, el cemento y el agua a una mezcladora planetaria. Se hizo fluir dióxido de carbono a la mezcladora a través de un tubo de caucho de 3/4 de pulgada (1.90 cm) de diámetro durante 180 segundos a una velocidad de flujo para lograr la carbonatación deseada. En algunas corridas, se añadió dióxido de carbono tanto a la mezcladora como a la caja de alimentación. En una corrida preliminar, se añadió toda el agua de forma inicial, pero en corridas posteriores, se añadió agua adicional añadida aproximadamente a la mitad a lo largo de 180 segundos de acuerdo con una evaluación de la consistencia de mezcla antes de la finalización de la mezcla y se añadió agua adicional como fuera necesario para lograr una apariencia de mezcla deseada. Los lotes con dióxido de carbono administrado al concreto requirieron agua adicional casi en proporción a la cantidad de gas de dióxido de carbono suministrado. La mezcla de concreto se colocó en un molde para producir bloques de 8

pulgadas (20.32 cm), que se probaron para densidad, resistencia a la compresión en 7, 28, y 56 días, y absorción de agua (todo de acuerdo con ASTM C140, 5 bloques por prueba). También se determinó la carbonatación del concreto: se crearon las muestras para analizar el contenido de dióxido de carbono del concreto al tomar una muestra fresca de la línea de producción, secando el concreto en una placa caliente para remover el agua, y posteriormente tamizando el material a través de un tamiz de 160 μm. Se examinaron muestras de las materias primas para determinar la cantidad de cada componente que pasa a través de un tamiz de 160 μm y el contenido de carbono del material pasante. Esta información, junto con el diseño de mezcla de concreto, permite el cálculo de un contenido de carbono, de control, teórico contra el cual se pueden comparar las muestras analizadas. Se cuantificó el contenido de carbono utilizando un analizador de carbono por combustión y detección por infrarrojo. Se calculó el incremento neto de % de CO_2 en comparación con un sistema no carbonatado, base que contiene los componentes.

[000459] En una primera prueba, se probó la carbonatación tanto en la caja de alimentación como en la mezcladora o solo en la caja de alimentación. Se resumen las variaciones examinadas en la tabla 7, más adelante. También se presentan datos para controles, que se prepararon en otros días (muestras 500 y 700).

Tabla 7 Contenidos de agua y variables de producción de bloque estándar

Código	Condición	Modo	Dosis total (% bwc)	w/c	Fracción de agua

0600	Control	No carbonatado	-	0.392	6.64%
0601	CO_2	Caja de alimentación 0.5%	0.5%	0.422	8.32%
0602	CO_2	Mezcladora 0.5%	0.5%	0.430	8.25%
0603	CO_2	Mezcladora 1.0%	1.0%	0.440	8.08%
0604	CO_2	Mezcladora 1.0%, Caja de alimentación 0.5%	1.5%	0.450	8.23%
0605	CO_2	Mezcladora 1.5%	1.5%	0.455	8.39%
0500	Control	No carbonatado	-	0.406	8.88%
0700	Control	No carbonatado	-	0.426	7.45%

[000460] La Figura 32 muestra los resultados de pruebas para absorción de dióxido de carbono, resistencia a la compresión, absorción de agua, y densidad para los bloques producidos en esta prueba.

[000461] La eficiencia de absorción de dióxido de carbono fue mayor en la dosis de 1.5% bwc donde se administró dióxido de carbono solo a la mezcladora (lote 0605); la administración de 0.5% de la dosis en la caja de alimentación fue consistentemente menos eficiente que la administración de todas las mismas dosis en la mezcladora (lote 0601 comparado con lote 0602; lote 0604 comparado con lote 0605). Se logró una eficiencia de absorción de dióxido de carbono de 93% con una dosis de CO_2 de 1.5% administrada únicamente en la mezcladora (lote 0605). En consecuencia, se utilizó en pruebas posteriores una dosis de 1.5% de CO_2, administrado únicamente a la mezcladora.

[000462] La adición de CO_2 a la mezcla mejoró consistentemente la resistencia a la compresión en 7, 28 y 56 días, en todas las dosis probadas, ya sea si se añadió o no

el CO_2 a la mezcladora, la caja de alimentación, o ambas. Las resistencias a la compresión, promedio, totales de los dos conjuntos de control (no carbonatados) (0500 y 0700) fueron 2843, 3199, y 3671 psi en 7, 28, y 56 días, respectivamente. En 7 días los primeros cuatro lotes producidos con CO_2 (0601, 0602, 0603, y 0604) mostraron un beneficio de resistencia de 30-36% con respecto al control promedio, y el lote carbonatado, final (0605) fue 18% más resistente. El beneficio de resistencia se mantuvo en 28 días con un beneficio de las primeras 4 condiciones carbonatadas que varían de 29-37% y el lote final que es 19% mejor que el control promedio. Los resultados de 56 días indicaron que el beneficio de resistencia haber incrementado a 30-45% para los primeros cuatro conjunto y 36% para la fijación final.

[000463] Se redujo la absorción de agua a través de la carbonatación. Las mezclas 0601 a 0603 tuvieron una absorción de agua aproximadamente 35% menor que aquella del control no carbonatado (0500 y 0700), y la mezclas 0604 y 0605, en las cuales se añadió 1.5% de CO_2, tuvieron una absorción de agua de aproximadamente 18% menor que la del control.

[000464] La densidad de las mezclas carbonatadas varió con la cantidad de dióxido de carbono añadido. La densidad de los dos lotes con menor CO_2 (0.5%) (0601 y 0602) fue aproximadamente 2.5% mayor que el control, pero la densidad de los lotes carbonatados a una dosis de 1.0% o 1.5% (0603, 0604, y 0605) fueron equivalentes a la densidad del control.

[000465] En general, esta prueba indicó que la carbonatación de la mezcla en una operación de precolado que produce bloques de 8 pulgadas (20.32 cm) indicó que se puede lograr una eficiencia de absorción de dióxido de carbono de más de 90%, produciendo bloques que fueron más resistentes que los no carbonatados a todas las dosis de dióxido de carbono y puntos de tiempo probados, culminando en una resistencia de

56 días que promedio más del 30% mayor que el control. La absorción de agua de los bloques carbonatados fue consistentemente menor que el control, y los bloques carbonatados a 1.0 y 1.5% de dosis de CO_2 tuvieron una densidad equivalente de los bloques no carbonatados.

[000466] En una segunda prueba, se utilizó la mezcla de la tabla 8, con una dosis de 1.5% de CO_2 administrado a la mezcladora, y, se administraron además 5 dosis diferentes de un aditivo de gluconato de sodio-0.1, 0.2, 0.3, 0.4, y 0.5% bwc. Se administró el gluconato de sodio en solución de agua, disuelto en un galón de agua (0.1, 0.2, y 0.3%) o en dos galones de agua (0.4 y 0.5%). Se añadió el aditivo de gluconato de sodio aproximadamente 75 segundos después de que comenzó la administración de dióxido de carbono a la mezcladora, y, duró aproximadamente 90 segundos para añadirse. Se añadió el aditivo manualmente durante el ciclo de mezcla. La adición del aditivo comenzó durante la adición de dióxido de carbono para no extenderse al ciclo de mezcla. Se midió la carbonatación, resistencia a la compresión, densidad, y absorción de agua.

[000467] Los contenidos de agua y las variables investigadas se resumen en la tabla 8. Los resultados generales se resumen en la Figura 32.

Tabla 8 Bloque estándar, con gluconato de sodio

Código	**Condición**	**Modo**	**Dosis de CO_2 (% bwc)**	**Gluconato de sodio**	**w/c**	**Fracción de agua**
0700	Control	-	-	-	0.425	7.35%
0701	CO_2	Mezcladora	1.5	0.5%	0.413	8.12%
0702	CO_2	Mezcladora	1.5	0.4%	0.413	7.85%
0703	CO_2	Mezcl	1.5	0.3%	0.424	7.99%

		adora				
0704	CO_2	Mezcladora	1.5	0.2%	0.426	7.87%
0705	CO_2	Mezcladora	1.5	0.1%	0.433	7.81%
0706	Control	-	-	-	0.426	7.45%

[000468] Se encontró que la eficiencia de administración de CO_2 para los lotes producidos en esta prueba varía de 78% a 94%, a través de todos los lotes. Se mantuvieron constantes los parámetros de inyección de gas y se encontró que la eficiencia promedio es aproximadamente 85%.

[000469] Se mostró que la resistencia fue sensible a la dosis de aditivo. Ver Figura 33. La resistencia de control se puede tomar al 100% en todas las edades y las resistencias carbonatadas se muestran con respecto a la comparación. Para dosis menores la resistencia del concreto carbonatado fue equivalente a la resistencia de control tanto en 7 como 28 días. Para una dosis de 0.4% hubo un beneficio de resistencia de 12% en 7 días y desempeño equivalente en 28 y 56 días. Para una dosis de 0.5% hubo un beneficio de resistencia de 34% en 7 días, 28% en 28 días, y 25% en 56 días. Estos resultados indican que existe una cierta cantidad de aditivo requerida en el concreto más allá de la cual se puede lograr este beneficio de resistencia.

[000470] Se muestra que de nuevo se redujo la absorción de agua para los productos carbonatados. Todas las mezclas carbonatadas se dosificaron con 1.5% de CO_2 bwc y tuvieron absorciones similares. Se redujo la absorción de agua 12% para la dosis de aditivo más baja y 31% para la dosis de aditivo más alta. La densidad mostró algo de dependencia en la dosis de aditivo. El tratamiento de carbonatación con la dosis pequeña de aditivo disminuyó la densidad de 131 a 128.5

lb/pies^3 (aunque se puede señalar que la resistencia permaneció equivalente al control). La densidad incrementó con la dosis de aditivo y se encontró densidad equivalente con una dosis de 0.3% y la densidad fue 1.3% mayor para la dosis de aditivo más alta.

[000471] Reducción de emisiones: El dióxido de carbono absorbido en el concreto puede reducir efectivamente las emisiones de carbono incorporado. Si se conoce la masa de bloque y el diseño de mezcla, entonces se puede determinar las emisiones totales relacionadas con el cemento. En este ejemplo, se encontró que el bloque de 17.7 kg es 12.9% (en masa húmeda) de cemento y por lo tanto hay 2282 g de cemento en cada bloque. Se sugirió por el proveedor que el cemento fuera 94% escoria de hulla. Si la intensidad de emisiones de la escoria de hulla se asume que es una genérica de 866 kg de CO_2 e/tonelada de escoria de hulla producida entonces las emisiones de escoria de hulla para cada bloque alcanzan 1858g. Un escenario de absorción de carbonatación genérica puede permitir que se calcule una absorción de dióxido de carbono total y compensación neta de emisiones. La eficiencia de absorción total en el presente ejemplo, tomando en cuenta todas las pruebas, fue 88%. Una dosis de 1.5% en peso de cemento significa que se dosifican 34.2g de CO_2 por bloque en tanto que la eficiencia de absorción significa que 30.1 g se unen como productos de reacción de carbonato estables en el bloque. La diferencia es una pérdida que representa la ineficiencia de 12%. Bajo estas suposiciones, la cantidad absorbida de dióxido de carbono representa una compensación directa de aproximadamente 1.62% de las emisiones de la producción de escoria de hulla. Una consideración de captura neta requiere un análisis detallado que incluye las emisiones requeridas para implementar la tecnología. Se puede realizar una estimación razonable al considerar la energía para

capturar y comprimir el CO_2 y la distancia que el CO_2 se tenía que transportar. Son relevantes factores adicionales (tal como la creación y transporte del hardware para la tecnología) pero se consideran de menor importancia en vista de los aspectos relacionados con el gas. La fuente de CO_2 industrial más cercana al sitio de prueba estaba a 63 millas (101.38 km). Se puede tomar que las emisiones de transporte son 222 g CO_2/tonelada-milla de carga (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2014). La energía requerida para capturar dióxido de carbono está en la orden de 150 kWh/tonelada. Para 1000 bloques una dosis de 1.5% bwc inyectaría 34,250 g de CO_2. La absorción total sería 30,140 g de CO_2. El transporte y procesamiento de gas se calcula con respecto a la cantidad inyectada total. Las emisiones de dióxido de carbono asociadas con la energía requerida para capturar y comprimir son 3,522 g. El transporte del CO_2 líquido de 63 millas (101.38 km) dio por resultado emisiones de dióxido de carbono de 479 g. No se requiere ninguna energía para evaporizar el CO_2 líquido en la planta de concreto si se emplea un vaporizador atmosférico. La tecnología para carbonatar 1000 bloques daría por resultado emisiones de CO_2 de 4001 g. La utilización neta, 26,139 g, entonces es la diferencia entre el dióxido de carbono total absorbido y las emisiones totales de proceso. Esto significa que 13.3% del dióxido de carbono absorbido no puede estar asociado con un beneficio ambiental debido a las emisiones asociadas. Sin embargo, sugiere que la eficiencia neta de la utilización de CO_2 es 86.7%. Un análisis de sensibilidad puede sugerir la forma en la que entradas específicas de la ubicación pueden afectar la eficacia de captura. Ciertas ubicaciones están más distantes de fuentes de CO_2 industrial que el presente caso. Si se incrementara la distancia de transporte de CO_2 líquido a 600 millas (965.6 km) (razonable

en mercados donde se transportan gases industriales de distintas áreas) entonces el incremento en emisiones de transporte reduce la eficiencia estimada a 73.2%. Sin embargo, si la distancia se mantiene a 63 millas (101.38 km) entonces se puede examinar el efecto de emisiones de la red eléctrica en las emisiones del procesamiento de dióxido de carbono. Un ejemplo de bajas emisiones de red eléctrica se puede encontrar en Nueva York donde partes del estado ven 548.37 lb CO_2e/MWh (248.7 g CO2e/kWh). Las emisiones de procesamiento de gas reducidas incrementarían la eficacia de captura a 94.2%. Un ejemplo de emisiones muy bajas de red eléctrica se puede encontrar en Quebec en 5.1 lb CO_2e/MWh (2.3 g CO_2e/kWh), donde la eficacia alcanzaría 98.4%. Por otra parte, Colorado tiene altas emisiones de red eléctrica de 1906.27 lb CO_2e/MWh (864.7 g CO_2e/kWh). La eficacia disminuiría a 83.7%. Estas estimaciones son consistentes con un caso previamente examinado. En el orden de 80-90% del dióxido de carbono absorbido por el concreto representaría una remoción total de CO_2 de la atmósfera en tanto que el balance se compensaría por las emisiones requeridas para emplear la tecnología.

[000472] Este ejemplo ilustra que el dióxido de carbono se puede añadir a una mezcla de concreto precolado en una operación de colado en seco en la etapa de mezcladora y los productos formados generalmente son más resistentes, muestran menor absorción de agua, y densidad equivalente cuando se comparan con productos no carbonatados. La adición de un aditivo de gluconato de sodio dio por resultado un efecto dependiente de la dosis sobre la resistencia, absorción de agua y densidad, e indicó que se puede lograr una dosis óptima para el aditivo para optimizar estos parámetros.

Ejemplo 14

[000473] En este ejemplo se utilizó el mismo equipo de

precolado en la misma instalación que en el ejemplo 13, pero utilizando tres diferentes mezclas de concreto: una mezcla de caliza, una mezcla de peso ligero, y una mezcla de arenisca. Este ejemplo ilustra la importancia de ajustar los parámetros de mezcla de carbonatación a las mezclas con diferentes características.

[000474] Se utilizaron tres diferentes diseños de mezcla, mostrados en las Tablas 9, 10, y 11.

Tabla 9 Diseño de mezcla de bloque de caliza

Componente	Nombre	Cantidad
Agregado grueso	Sycamore FA-5	3152 lb
Agregado grueso	Sycamore FM-20	5145 lb
Agregado fino	Arena de sílice/Wedron 430	745 lb
Cemento	Illinois Product	351 lb
Cemento	Cemento blanco	819 lb
Aditivo	Rainbloc 80	59 oz
aditivo	Frocast 150	117 oz
Contenido de agua objetivo		8.6%

Tabla 10 Diseño de mezcla de bloque de peso ligero

Componente	Nombre	Cantidad
Agregado grueso	Grava Birdseye	1030 lb
Agregado grueso	Gravelite	1500 lb
Agregado fino	Arena Screening	2200 lb
Agregado fino	Arena Meyers Mat Torp	1500 lb
Cemento	Illinois Product	725 lb
Aditivo	Rainbloc 80	34 oz
Contenido de agua objetivo		7.9%

Tabla 11 Diseño de mezcla de bloque de arenisca

Componente	Nombre	Cantidad
Agregado grueso	Sycamore FA-20	3750 lb

Agregado fino	Arena Meyers Mat Torp	1800 lb
Cemento	Illinois Product	730 lb
Aditivo	Rainbloc 80	37 oz
Contenido de agua objetivo		7.0%

[000475] Prueba de mezcla de caliza

[000476] En una primera prueba, se utilizó la mezcla de caliza de la Tabla 9. Las condiciones fueron como para la segunda prueba del ejemplo 13, con CO_2 añadido a un dosis de 1.5% en la mezcladora. Se probó adición de 0.4% de gluconato de sodio. La adición del aditivo Procast que normalmente es parte de la secuencia de mezcla para el diseño de mezcla de caliza se retardó para que se añadiera después de que se completara la inyección de dióxido de carbono. Se resumen los contenidos de agua y las variables investigadas en la Tabla 12. Se resumen los resultados generales en la Figura 34.

Tabla 12 Contenidos de agua y variables de producción de mezcla de caliza

Código	Diseño de mezcla	Condición	Modo	Dosis CO_2 bwc)	de (%	Aditivo	w/c	Fracción de agua
0805	Caliza	Control	-	-		-	0.225	7.75%
0806	Caliza	CO_2	Mezcladora	1.5		0.4%	0.514	8.53%

[000477] Se examinó el diseño de mezcla de caliza solamente en una corrida de producción limitada parcialmente debido a la dificultad percibida de evaluar de forma precisa la cantidad neta de dióxido de carbono absorbido contra el alto contenido de carbono de la base de caliza, al menos cuando se utilizan los procedimientos y métodos analíticos actuales.

[000478] Los datos de resistencia a la compresión mostraron que los bloques de caliza carbonatados promediaron 2349 psi

en 7 días y fueron ligeramente más débiles (7%) que los bloques de control. La resistencia de 28 días fue 2518 psi y 14% menor que el control. La resistencia de 56 días promedió 2762 psi y 9% más débil que el control aunque esta brecha se puede reducir a 6% si se removió un punto extraño. La dosis de aditivo en esta prueba se determinó utilizando el cemento Illinois Product y no se llevó a cabo ninguna prueba por adelantado en el cemento Federal White en el diseño de mezcla de caliza. El desarrollo posterior en laboratorio ha dejado claro que el efecto y la dosis del aditivo es sensible al tipo de cemento. La integración de la tecnología de carbonatación puede requerir una pequeña serie de investigaciones de corridas de ensayos para determinar tanto si se desea el aditivo y cuál debe ser la dosis apropiada. El éxito para demostrar el uso de aditivo, para el cemento Illinois Product, en el laboratorio antes del piloto sugiere que se puede lograr tamizado de optimización preliminar para cualquier mezcla para la cual estuvieron disponibles los materiales.

[000479] En términos de absorción de agua, se encontró que el bloque de caliza carbonatado tuvo una mayor absorción y menor densidad de los bloques de control. La absorción incrementó 18% y la densidad disminuyó 2%. Los resultados concuerdan con la menor resistencia de los bloques de caliza carbonatados y soportan la necesidad de afinar las entradas utilizadas cuando se carbonata esta mezcla.

[000480] Prueba de mezcla de peso ligero. En una segunda prueba, se utilizó la mezcla de peso ligero de la Tabla 10. Las condiciones fueron como para la segunda prueba del ejemplo 13, con CO_2 añadido a una dosis de 1.5% en la mezcladora. Se probó adición de gluconato de sodio a tres niveles diferentes, 0.35, 0.4, y 0.45%. Los contenidos de agua y las variables investigadas se resumen en la Tabla 13.

Los resultados generales se resumen en la Figura 35.

Tabla 13 Contenidos de agua y variables de producción de diseño de mezcla de peso ligero

Código	**Diseño de mezcla**	**Condición**	**Modo**	**Dosis de CO_2 (% bwc)**	**Aditivo**	**w/c**	**Fracción de agua**
0801	Peso ligero	Control	-	-	-	0.745	6.96%
0901	Peso ligero	CO_2	Mezcladora	1.5	-	0.691	12.25%
0902	Peso ligero	CO_2	Mezcladora	1.5	0.35%	0.703	13.79%
0802	Peso ligero	CO_2	Mezcladora	1.5	0.40%	0.758	8.80%
0903	Peso ligero	CO_2	Mezcladora	1.5	0.45%	0.707	13.99%

[000481] Los resultados preliminares sugieren que un incremento en el contenido de CO_2 similar a lo que se ha observado para el bloque estándar se presentó para las mezclas de peso ligero carbonatadas en todos los casos. Sin embargo, debido a dificultades inherentes para llevar a cabo la cuantificación de carbono para estos diseños de mezcla no se llevó a cabo un análisis definitivo, y los números reales obtenidos, en algunos casos más del 100%, no son confiables.

[000482] Los datos de resistencia a la compresión para la mezcla de peso ligero se resumen en la Figura 36. La prueba rompió tres bloques del conjunto de control y cinco bloques de cada uno de los conjuntos carbonatados. La resistencia de control (no carbonatada, sin gluconato de sodio) se puede tomar al 100% en todas las edades y las resistencias carbonatadas (con y sin gluconato de sodio) se muestran en comparación relativa. El lote carbonatado sin gluconato de sodio estuvo ligeramente por debajo del control en 7 días

pero desarrolló resistencia a una velocidad más rápida después de eso. Se encontró que los lotes de aditivo son más resistentes en la primera medición y mantuvieron al menos este nivel o beneficio a través del resto del programa de prueba.

[000483] La producción de bloques de peso ligero encontró una cantidad óptima o casi óptima de aditivo. Sin utilizar ningún aditivo la resistencia estuvo 11% debajo de la resistencia de control en 7 días, 5% por delante en 28 días y 10% por delante en 56 días. El concreto carbonatado con baja dosis de aditivo fue 22%, 42% y 41% más resistente que el control no carbonatado en 7, 28, y 56 días respectivamente. La dosis de 0.40% produjo concreto que fue 76%, 94% y 84% más resistente en las tres edades en tanto que la dosis de 0.45% de aditivo dio por resultado mejoras de 21%, 32% y 33%. Estos resultados son diferentes que aquellos para el bloque estándar en el ejemplo 13, donde no se alcanzó necesariamente una dosis óptima de gluconato de sodio incluso a 0.5%, e ilustra la utilidad de la pre-prueba, o de otra forma la optimización, de dosis de aditivo y otras condiciones específicas a un diseño de mezcla específico. Ver ejemplo 15 para una prueba adicional de ésta.

[000484] La inyección de CO_2 tuvo poco efecto en la densidad del bloque de peso ligero o absorción de agua cuando no se utilizó ninguna cantidad de gluconato de sodio. A través de las dosis de aditivo se disminuyeron las absorciones de agua aproximadamente 10% para las dosis de 0.35% y 0.45% y 34% para la dosis media de 0.4%, en comparación con el control no carbonatado sin gluconato de sodio. Por el contrario, la densidad disminuyó cuando se utilizó gluconato de sodio. Fue hasta 1-2% para la dosis alta y baja y 7% mayor para la dosis media, en comparación con el control no carbonatado sin gluconato de sodio. En tanto que los bloques carbonatados de

dosis media fueron más resistentes y tuvieron la absorción de agua más baja también tuvieron la densidad más alta. Se encontraron resultados prometedores de resistencia y absorción con las otras dos dosis de aditivo y acompañados por un pequeño incremento de densidad. El uso del aditivo se beneficiará en general de la pre-prueba u otro trabajo predictivo para optimizar las condiciones para obtener el resultado deseado, por ejemplo, en el caso de bloques de peso ligero, una combinación de resistencia, densidad, absorción de agua, y otras propiedades como se desee.

[000485] Prueba de mezcla de arenisca

[000486] En una tercera prueba, se utilizó la mezcla de arenisca de la Tabla 11. Las condiciones fueron como para la segunda prueba del ejemplo 13, con CO_2 añadido a una dosis de 1.5% en la mezcla. Se probó adición de 0.35, 0.4 y 0.45% de gluconato de sodio. Las variables investigadas y contenidos de agua se resumen en la Tabla 14. En la Figura 37 se resumen los resultados generales.

Tabla 14 Contenidos de agua y variables de producción de diseño de mezcla de arenisca

Código	Diseño de mezcla	Condición	Modo	Dosis de CO_2 (% bwc)	Aditivo	w/c	Fracción de agua
0803	Arenisca	Control	-	-	-	0.672	6.55%
0904	Arenisca	CO_2	Mezcladora	1.5	-	0.697	6.93%
0905	Arenisca	CO_2	Mezcladora	1.5	0.35%	0.736	7.00%
0804	Arenisca	CO_2	Mezcladora	1.5	0.40%	0.710	7.29%
0906	Arenisca	CO_2	Mezcladora	1.5	0.45%	0.718	7.02%

[000487] El análisis preliminar de las muestras de arenisca encontró contenidos de CO_2 que son mayores en todas las

mezclas carbonatadas con respecto al control. La eficiencia promedio de administración de CO_2 para lotes producidos se encontró que varía de 20% a 90% en un 1.5% en peso de cemento de dosis de CO_2. A partir del análisis preliminar el lote 0905 parece que contiene una cantidad menor de CO_2 capturado en comparación con otros lotes producidos bajo condiciones similares. Está en marcha análisis adicional para confirmar este resultado. La eficiencia promedio de administración de CO_2 considerando todos los lotes de arenisca es aproximadamente 66%, sin embargo se eleva a aproximadamente 81% si se omite el lote 0905 del cálculo.

[000488] Los datos de resistencia a la compresión para la mezcla de arenisca se resumen en la Figura 38. La prueba rompió tres bloques de control y cinco bloques carbonatados. Los datos se grafican para mostrar cada ruptura individual con la resistencia a la compresión promedio resaltada. Los bloques carbonatados de arenisca sin aditivo tuvieron una resistencia que fue funcionalmente equivalente a la resistencia de control (carbonatada, sin aditivo) (4% debajo en 7 días, 2% por delante en 28 días y 5% debajo en 56 días). De estas tres dosis de aditivo, la resistencia incrementó con dosis de aditivo que sugiere que la dosis alcanzó un óptimo a través del intervalo considerado. El beneficio de resistencia de 7 días fue 7%, 9% y 63% en las tres dosis de aditivo consideradas. El beneficio en 28 días fue 8%, 22% y 66% respectivamente. En 56 días fue 9%, 8% y 58% respectivamente. El incremento de resistencia con dosis de aditivo a través del intervalo de dosis refleja los datos con el bloque estándar del ejemplo 13 en donde alguna cantidad “umbral” del aditivo parece que se cruza con respecto a la cantidad del dióxido de carbono presente en el concreto.

[000489] El tratamiento de carbonatación sin utilizar el aditivo incrementó la absorción de agua 12% y disminuyó la

densidad 3%. El uso del aditivo llevó a las métricas de nuevo en línea con el control en la dosis más baja y ofreció mejora significativa en la dosis más alta. La absorción de agua se redujo 19% y se incrementó la densidad 3% para los bloques carbonatados con 0.45% de dosis del aditivo. Como con otras mezclas, las propiedades deseadas finales de los bloques determinarán si el aditivo, tal como gluconato de sodio, se utiliza, y bajo qué condiciones, por ejemplo, a qué concentración, que se puede predeterminar por pruebas preliminares o por otra prueba apropiada.

[000490] Este ejemplo ilustra la importancia de adaptar condiciones de carbonatación, por ejemplo, uso de aditivo, al diseño de mezcla exacto que se considera, ya que las tres mezclas utilizadas mostraron diferentes respuestas a gluconato de sodio como un aditivo, y también tuvieron diferentes requerimientos. Por ejemplo, en la mezcla de peso ligero, la densidad es una consideración importante y puede dictar que se utilice una dosis más baja de aditivo que aquella que produce máximo desarrollo de resistencia y/o mínima absorción de agua. Para otras mezclas, otras consideraciones pueden jugar un papel dominante para determinar las condiciones de carbonatación, tal como uso de aditivo.

Ejemplo 15

[000491] Este ejemplo ilustra el uso de un aditivo de gluconato de sodio con un diseño de mezcla de peso medio, donde la dosis de aditivo se predeterminó con base en los resultados de los lotes probados en los Ejemplos 13 y 14.

[000492] Se utilizó un diseño de mezcla de peso medio en la misma instalación y con el mismo equipo que en los Ejemplos 13 y 14. En la Tabla 15 se da el diseño de mezcla.

Tabla 15 Diseño de mezcla de peso medio (w/c objetivo = 0.78)

Ingrediente	Cantidad	Fracción
Grava Birdseye	1030 lbs	12.8%
Cemento Illinois Product	675 lbs	8.4%
Arena de bloque McCook	1800 lbs	22.3%
Arena Meyers Torp	2270 lbs	28.1%
Screening	2300 lbs	28.5%
RainBloc 80	34 z	-

[000493] Se encontró que la mejor dosis de gluconato de sodio en las mezclas estándar, de peso ligero, y de arenisca utilizadas en los Ejemplos 13 y 14 estuvo relacionada linealmente con el contenido de cemento. Ver Figura 39. Con base en esta relación, y ajustada para el hecho de que la dosis de CO_2 iba a ser 1.0% en lugar de 1.5% utilizada en la mezcla estándar, de peso ligero, y de arenisca, una dosis de gluconato de sodio de 0.25% bwc se utilizó. Se produjeron bloques como se describe en el ejemplo 13, con gluconato de sodio - no carbonatado (control), no carbonatado + gluconato de sodio, carbonatado - gluconato de sodio, y carbonatado + gluconato de sodio, y se probaron para resistencia en la compresión y densidad. Los bloques también se sometieron para pruebas de terceros que también incluyeron absorción de agua (Nelson Testing Laboratories, Schaumberg. IL).

[000494] En la Figura 40 se resumen resultados de masa y de resistencia a la compresión para 7, 28, y 56 días. La dirección de las flechas representa el tiempo de medición, de 7 a 56 días. Los bloques no carbonatados con gluconato de sodio fueron ligeramente más densos y resistentes que los bloques no carbonatados en gluconato de sodio en todos los puntos de tiempo probados, en tanto que los bloques

carbonatados sin gluconato de sodio fueron menores en resistencia y masa que los bloques no carbonatados sin gluconato de sodio, y los bloques carbonatados con gluconato de sodio ambos fueron más resistentes y ligeros que los bloques no carbonatados sin gluconato de sodio.

[000495] Los resultados de las pruebas de terceros se muestran en la Figura 41. Se utilizaron tres conjuntos de datos de bloques, con todos los lotes que cumplen la especificación ASTM C90. El CO_2 por separado hizo que los bloques fueran 6% más débiles que el control, pero utilizando CO_2 más gluconato de sodio hizo que fueran 8% más resistentes que el control. El CO_2 por separado incrementó la absorción de agua por 7% en comparación con el control, pero el CO_2 más gluconato de sodio dio por resultado bloques con 4% menos absorción de agua en comparación con el control. Se incrementó el encogimiento tanto para los conjuntos de CO_2 como CO_2 más gluconato de sodio, pero para el lote de gluconato de sodio fue efectivamente equivalente al control.

[000496] Este ejemplo demuestra que una dosis de gluconato de sodio predeterminada para una nueva mezcla, con base en resultados anteriores, fue suficiente para producir bloques carbonatados comparables en masa y encogimiento, mayores en resistencia a la compresión, y menores en absorción de agua que los bloques no carbonatados sin gluconato de sodio.

Ejemplo 16

[000497] Se utilizaron los siguientes protocolos en los ejemplos 17 a 21, con modificaciones como se indica en ejemplos particulares.

[000498] Mezcla de mortero

1. Preparar el recipiente de mezcla mojando los lados con un paño húmedo, asegurándose de remover cualquier acumulación de agua del recipiente antes de introducir las materias primas.

2. Pesar la cantidad necesaria de agua para su prueba y añadir el agua al recipiente de mezcla vacío, húmedo.

3. Añadir harina a la mezcladora.

4. Mezclar harina y agua durante 30 segundos en la velocidad #2.

5. Raspar los lados de recipiente con espátula de caucho pre-humedecida para remover cualquier material adherido a los lados del recipiente de mezcla.

6. Añadir los materiales cementosos requeridos al recipiente de mezcla.

7. Mezclar arena, agua y materiales cementosos durante 30 segundos a velocidad #2.

8. Grabar el tiempo durante el cual se añaden los materiales cementosos a la mezcla.

9. Raspar los lados del recipiente de mezcla con una espátula de caucho pre-humedecida.

10. Grabar la temperatura.

11. Si no se carbonata, saltarse al paso 14.

12. Carbonatar a una velocidad de flujo de 20 litros por minutos durante duración deseada.

13. Grabar temperatura final.

14. Raspar los lados de recipiente con espátula de caucho pre-humedecida.

15. Introducir aditivos necesarios –la secuencia de mezcla y los detalles de dosificación de los aditivos puede variar de acuerdo con la prueba. Grabar tiempo y dosis.

16. Después de que se añade cada aditivo o azúcar, mezclar durante 30 segundos.

17. Medir asentamiento utilizando el cono de asentamiento japonés. Grabar asentamiento y propagación (dos mediciones).

18. Para retención de asentamiento, regresar al

recipiente, esperar, re-mezclar 30 segundos antes del siguiente asentamiento.

19. Producir una muestra para calorimetría.

20. Rellenar tres moldes de cubos de mortero con mortero (Procedimiento ASTM C109/Método de Prueba Estándar C109M-12 para Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico).

21. Cubrir los cubos de mortero con una bolsa de plástico de basura o paño húmedo y desmoldar sólo después de que hayan pasado 18 +/-8 horas.

22. Romper cubos en 24 horas +/-30 minutos (utilizar tiempo en el cual se introdujo el cemento a la mezcla como un indicador de cuándo se deben romper las muestras).

Mezcla de concreto

• Humedecer interior de mezcladora, añadir toda la piedra y arena, mezclar 30 segundos para homogenizar.

• Añadir todos los materiales cementosos, mezclar un minuto para homogenizar.

• Añadir toda el agua de lote durante un período de 30 segundos, mezclar todos los materiales durante un minuto.

• Tomar temperatura inicial.

• Lote de control – mezclar durante 4 minutos y tomar temperatura final. Añadir aditivos como sea necesario, mezclar un minuto.

• Mezcla carbonatada – inyectar gas de CO_2 a 80 LPM, cerrar mezcladora, mezclar en tanto que se carbonata durante el tiempo requerido.

• Remover tapa y grabar temperatura final, añadir aditivos como sea necesario, mezclar un minuto.

• Grabar asentamiento (ASTM C143) y colar 6 cilindros de resistencia a la compresión (ASTM C192).

• Tomar dos muestras para humedad/cuantificación de

carbono, hornear una muestra para colorimetría.

• Desmoldar cilindros durante 28 +/-8 horas y colocarlos en un tanque de curado de baño de agua de cal a una temperatura de 23°C +/-3°C.

• Probar resistencia a la compresión de 24 horas (3 muestras) y 2 a 7 días (2 muestras).

Ejemplo 17

[000499] En este ejemplo se comparó la absorción de dióxido de carbono de cementos de dos diferentes fuentes, Lehigh y Holcim.

[000500] Se preparó mezcla de mortero bajo un flujo de 20 LPM de gas de CO_2. Se removieron muestras de lote de mortero cada 60 segundos hasta el punto de 8 minutos. Se midió el contenido de dióxido de carbono y una curva construida con respecto a la longitud de la exposición a gas de CO_2 a la cantidad aproximada de absorción de CO_2. Se compararon dos cementos. El diseño de mezcla fue 1350 g de arena EN, 535 g de cemento, 267.5 g de agua. w/c = 0.5.

[000501] Los resultados se muestran en la Figura 42. La absorción de dióxido de carbono incrementó con el tiempo, como se esperaba, pero la velocidad de incremento fue diferente para los dos cementos diferentes. A una w/c de 0.5, la pasta de mortero puede absorber dióxido de carbono pero para exceder 1% de absorción tomaría 3 a 5 minutos, dependiendo del tipo de cemento utilizado.

[000502] Este ejemplo ilustra que una w/c de 0.5 permite absorción de dióxido de carbono, pero a una velocidad que no puede ser compatible con mezclas de cemento en algunos ajustes, y que la fuente de cemento pueda afectar las propiedades de una mezcla de cemento hidráulico producida con el cemento con respecto a una absorción de dióxido de carbono.

Ejemplo 18

[000503] En este ejemplo, se estudió el efecto de relación w/c en la absorción de dióxido de carbono.

[000504] En un primer estudio, se llevó a cabo una prueba con mortero. La mezcla total fue 990 g de arena Ottawa, 440 g de cemento, y 206 g de agua total. El agua, la arena y el cemento se mezclaron, con el agua añadida en dos etapas. Se suministró CO_2 durante varias veces a 10 LPM después de la primera adición de agua, que llevó a la mezcla a ya sea w/c de 0.1 o 0.45, y el agua restante entonces se añadió y se completó la mezcla. Se midió la absorción de carbono en diferentes puntos de tiempo, como se muestra en la Figura 44. La tasa de absorción de dióxido de carbono fue más alta para la pasta con w/c de 0.1 al momento de reacción que para w/c de 0.45.

[000505] En un segundo estudio, se llevó a cabo una serie de pruebas en el mortero. La mezcla de mortero se preparó bajo un flujo de 20 LPM de gas de CO_2. Se midió el contenido de dióxido de carbono y una curva construida con respecto a la w/c de la mezcla de mortero al momento de la adición de dióxido de carbono a la cantidad aproximada de absorción de CO_2. El diseño de mezcla fue 1350 g de arena EN, 535 g de cemento (Holcim GU), 267.5 g de agua. La w/c total = 0.5. El agua se añadió en dos etapas. Una porción antes de la carbonatación, la porción restante después de un minuto de carbonatación. La cantidad antes de la carbonatación varió de 10% al 100% del total (w/c = 0.05 a 0.50). El efecto de w/c en la carbonatación en 1 minuto se muestra en la Figura 45 y en la Tabla 16.

Tabla 16 Efecto de w/c en mortero en absorción de dióxido de carbono

w/c inicial	Absorción	Con respecto al nivel de 0.05

0.50	0.00	
0.05	1.98	100%
0.10	1.56	79%
0.15	1.52	77%
0.20	1.29	65%
0.25	1.32	67%
0.30	1.24	63%
0.35	0.77	39%
0.40	0.78	40%
0.45	0.48	24%
0.50	0.35	18%

[000506] Los sistemas de mortero más secos mostraron mayores velocidades de absorción que los sistemas húmedos. La absorción de 1.98% a una w/c de 0.05 disminuyó a 0.35% a w/c de 0.50.

[000507] En una tercera prueba, se preparó una mezcla de concreto de ensayo con adiciones de agua separadas. La mezcla total fue 300 kg/m^3 de cemento, 60 de ceniza volante, 160 de agua, 1030 de piedra, 832 de arena. El agua se añadió en dos etapas. El CO_2 se suministró durante 180 segundos a 80 LPM después de la primera adición de agua. Entonces se añadió el agua restante y se completó la mezcla. La w/c en la adición de dióxido de carbono fue 0.1, 0.15, o 0.45. Los resultados se muestran en la Figura 46. Como con los morteros, la absorción de carbono incrementó con la w/c más baja cuando se administró el dióxido de carbono.

Ejemplo 19

[000508] Este ejemplo ilustra que el aumento de temperatura durante la carbonatación de una mezcla de cemento hidráulico está altamente correlacionado con el grado de carbonatación y se puede utilizar como un indicador del grado de carbonatación en un sistema específico.

[000509] En una primera prueba, el mortero utilizado en la segunda prueba del ejemplo 17 también tuvo mediciones de temperatura tomadas en los diferentes puntos de tiempo. Los resultados se muestran en la Figura 47. Hubo una relación lineal entre el grado de carbonatación y el incremento de temperatura en este sistema, en la cual la w/c varió y se mantuvo constante la exposición a dióxido de carbono.

[000510] En una segunda prueba, se estudió la temperatura vs la absorción de dióxido de carbono en morteros preparados con tres cementos diferentes, Holcim GU, Lafarge Quebec, y Lehigh. Se preparó mortero a una w/c = 0.5 y se carbonató durante varias veces a 20 LPM de CO_2. Los resultados se muestran en la Figura 48. También hubo una relación lineal entre grado de carbonatación y el aumento de temperatura en este sistema, en la cual se mantuvo constante la w/c a 0.5 y se varió el tiempo de exposición a dióxido de carbono. La relación fue relativamente constante con respecto a diferentes tipos de cemento. Las inclinaciones de la línea difieren en las dos pruebas, que se llevaron a cabo en dos sistemas diferentes, que refleja la especificidad del aumento de temperatura con la carbonatación a un sistema particular.

[000511] Estos resultados indican que en un sistema bien caracterizado, se puede utilizar aumento de temperatura como un indicador para absorción de dióxido de carbono.

Ejemplo 20

[000512] Este ejemplo ilustra los efectos de diferentes aditivos en el asentamiento y la resistencia a la compresión en el concreto.

[000513] En una primera prueba, se añadió gluconato de sodio a 0, 0.1% o 0.2% a una mezcla de concreto después de la carbonatación y se midieron los efectos de asentamiento en 1, 10 y 20 minutos después de la mezcla, y se compararon con el concreto no carbonatado, de control. Los resultados se

muestran en la Figura 49 y la Tabla 17. El asentamiento del concreto carbonatado es menor que la mitad del control en 1 minuto y disminuye a ningún asentamiento a 10 minutos. La adición de gluconato de sodio al 0.1% después de la carbonatación dio un asentamiento igual al control en 1 minuto, 80% en 10 minutos y 50% en 20 minutos. La adición al 0.2% también proporcionó alto asentamiento que la dosis menor en todos los intervalos, antes de estar al 75% del control en 20 minutos.

Tabla 17 Efectos de gluconato de sodio en asentamiento de concreto

	Control	Control de CO_2	SG - 0.1%	SG - 0.2%
1 min	100%	46%	100%	108%
10 min	100%	0%	80%	140%
20 min	100%	0%	50%	75%

[000514] En una segunda prueba, se probaron los efectos de fructosa a diferentes concentraciones en el asentamiento inicial de una mezcla de concreto. Se añadió fructosa después de la carbonatación. La mezcla total fue 4.22 kg de cemento, 1 kg de ceniza volante, 3.11 kg de agua, 16.96 kg de piedra, 14.21 kg de arena. Los resultados se muestran en la Figura 50. La carbonatación redujo el asentamiento de concreto. En respuesta, se añadió fructosa después de la carbonatación en proporciones de 0.05, 0.10 y 0.20% en peso de cemento. Las dosis reflejan masa de sólido de aditivo administrado en una solución. El contenido de CO_2 se cuantificó como 1.3%, 1.4% y 1.5% en peso del cemento para tres lotes carbonatados respectivamente. 0.20% de fructosa fue suficiente para restablecer el asentamiento para que sea equivalente al control. Sin embargo, la fructosa tuvo un efecto retardante

de resistencia, como se muestra en la Figura 51. La resistencia en 24 horas también fue significativamente menor que el control no carbonatado, pero las resistencias en 7 días fueron aceptables, con resistencias más altas asociadas con mayores contenidos de fructosa.

Ejemplo 21

[000515] En este ejemplo, se probó una variedad de diferentes cementos en una mezcla de mortero para determinar variaciones en respuesta a la carbonatación.

[000516] Se probaron seis cementos: Holcim GU (Hol), Lafarge Quebec (LQc), Lafarge Brookfield (LBr), Lehigh (Leh), Illinois Product (Ipr), y Northfield Fed White (NWh). Las propiedades y las químicas de los diferentes cementos se dan en la Tabla 18.

Tabla 18 Propiedades y químicas de diferentes cementos

Métrica	Hol	LQc	LBr	Leh	IPr	NWh
Área superficial - Blaine (m^2/kg)	423	417	392	425	501	408
CaO libre (%)	0.31	0.94	0.16	1.45	1.45	1.47
CaO (%)	62.22	60.56	62.68	61.55	62.61	65.36
Na_2Oe (%)	0.28	0.38	0.18	0.11	0.41	0.08
SiO_2 (%)	20.30	19.18	20.10	19.53	19.12	21.41
Al_2O_3 (%)	4.62	4.72	5.24	4.45	5.47	4.38
TiO_2 (%)	0.22	0.21	0.26	0.32	0.29	0.08
P_2O_5 (%)	0.14	0.26	0.05	0.25	0.13	0.01
Fe_2O_3 (%)	2.50	2.74	2.27	3.00	2.23	0.20
MgO (%)	2.21	2.80	1.48	3.21	2.70	0.90
Na_2O (%)	0.22	0.32	0.11	0.06	0.34	0.06
K_2O (%)	0.92	0.84	1.09	0.70	1.01	0.28
Mn_2O_3 (%)	0.05	0.09	0.07	0.18	0.19	0.01
SrO (%)	0.08	0.24	0.06	0.04	0.07	0.03

SO_3 (%)	3.63	3.79	4.10	2.96	3.88	3.94
BaO (%)	0.06	0.05	0.13	0.05	0.05	0.08
ZnO (%)	0.04	0.07	0.00	0.02	0.01	0.00
Cr_2O_3 (%)	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00
Pérdida en ignición a 975°C (%)	2.52	4.08	2.38	3.54	1.98	3.00

[000517] La mezcla de mortero fue 1350 g de arena EN 196, 535 g de cemento, 267.5 g de agua, relación w/c de 0.5. Se añadió CO_2 a recipiente de mezcla a 20 LPM durante duraciones de 0, 2, 4, 6, y 8 minutos. Se midió el cambio de temperatura, asentamiento, propagación de flujo, absorción de CO_2, y resistencia de cubo de 24 horas. Los resultados se dan en la Tabla 19.

Tabla 19 Propiedades de morteros carbonatados producidos con diferentes cementos

		Hol	LQc	LBr	Leh	IPr	NWh
0 min de CO_2	Absorción de CO_2 (%bwc)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Delta T (°C)	0.0	1.1	1.2	0.7	1.3	1.0
	Asentamiento (mm)	110	115	100	110	95	105
	Asentamiento (% de Control)	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Trabajo (mm)	157	185	144	165	130	180
	Resistencia (MPa)	20.2	15.0	25.1	16.0	33.4	20.4
	Resistencia (% de Control)	100%	100%	100%	100%	100%	100%

		Hol	LQc	LBr	Leh	IPr	NWh

2 min de CO_2	Absorción de CO_2 (%bwc)	0.87	0.64	0.47	0.67	0.55	0.69
	Delta T (°C)	2.9	3.6	2.8	4.3	3.7	6.5
	Asentamiento (mm)	70	105	40	50	10	30
	Asentamiento (% de Control)	64%	91%	40%	45%	11%	29%
	Trabajo (mm)	83	140	58	60	10	35
	Resistencia (Mpa)	9.9	7.6	12.0	13.1	31.3	17.3
	Resistencia (% de Control)	49%	38%	48%	65%	94%	85%
		Hol	LQc	LBr	Leh	IPr	NWh
4 min de CO_2	Absorción de CO_2 (%bwc)	0.94	0.88	1.10	1.30	1.79	0.88
	Delta T (°C)	4.9	6.1	7.6	7.2	9.3	9.3
	Asentamiento (mm)	60	70	20	45	0	8
	Asentamiento (% de Control)	55%	61%	20%	41%	0%	8%
	Trabajo (mm)	75	78	21	45	0	10
	Resistencia (MPa)	9.9	8.1	11.2	10.9	27.5	16.4
	Resistencia (% de Control)	49%	40%	45%	54%	82%	80%
		Hol	LQc	LBr	Leh	IPr	NWh
6 min de CO_2	Absorción de CO_2 (%bwc)	1.96	1.74	4.06	1.84	2.71	1.57
	Delta T (°C)	7.6	9.2	9.7	11.2	13.2	12.7
	Asentamiento (mm)	35	70	0	35	0	0
	Asentamiento (% de Control)	32%	61%	0%	32%	0%	0%
	Trabajo (mm)	35	89	-6	37	0	0
	Resistencia (MPa)	8.8	6.4	11.2	13.4	29.5	-
	Resistencia (% de Control)	43%	32%	45%	66%	88%	-

		Hol	LQc	LBr	Leh	IPr	NWh
8 min de CO_2	Absorción de CO_2 (%bwc)	2.76	1.68	1.27	2.23	3.75	2.07
	Delta T (°C)	13.4	9.2	14.8	14.7	22.2	17.3
	Asentamiento (mm)	5	40	0	15	0	0
	Asentamiento (% de Control)	5%	35%	0%	14%	0%	0%
	Trabajo (mm)	5	44	-8	13	0	0
	Resistencia (MPa)	8.2	6.8	13.9	14.5	---	---
	Resistencia (% de Control)	41%	34%	56%	72%	---	---

[000518] Hubo variación considerable entre los morteros producidos de los diferentes cementos en el asentamiento y la resistencia. El cemento Illinois Product fue notable por su más alta resistencia a la compresión en todos los puntos de tiempo probados. Sin que esté ligado por la teoría, esto puede ser debido a su mayor área superficial (ver Tabla 18), que permite que absorba dióxido de carbono con relativamente menos impacto proporcional en el desarrollo de resistencia. La resistencia vs el área superficial de las mezclas de mortero carbonatadas con diferentes áreas superficiales se muestra en la Figura 52.

Ejemplo 22

[000519] En este ejemplo, se añadieron diferentes aditivos a las mezclas de pasta de cemento expuestas a dióxido de carbono y se determinaron sus efectos en el asentamiento después de la mezcla. La mezcla de pasta fue 500 g de cemento, 250 g de agua. Cemento Holcim GU. Se dosificó 1% de bwc de CO_2, con mezcla durante un minuto. Los resultados se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20 Efectos de aditivos en asentamiento de mortero

carbonatado

Condición (todas las dosis expresadas como % en peso de cemento)	Propagación de pasta (cm) 1 min después de la mezcla	Propagación de pasta (cm) 10 Min después de la mezcla
Control	11.5	13.75
1% de CO_2	8.75	5
1% de CO_2 + 1% de Na_2SO_4	9.75	4.25
1% de CO_2 + 3% Na_2SO_4	7.25	4
1% de CO_2 + 5% Na_2SO_4	4.75	4
1% de CO_2 + 0.04% de Ácido cítrico	6.75	4
1% de CO_2 + 0.10% de Gluconato	6.5	4.25
1% de CO_2 + 0.15% de Gluconato	9.25	9.75
1% de CO_2 + 0.20% de Gluconato	9.25	10.25
1% de CO_2 + 0.05% de Gluconato – Después de la carbonatación	9.75	4.75
1% de CO_2 + 0.10% de Gluconato – Después de la carbonatación	10.75	11.775
1% de CO_2 + 0.15% de Gluconato – Después de la carbonatación	13.5	14

Ejemplo 23

[000520] En este ejemplo, se utilizaron sensores para dióxido de carbono y humedad en una operación de mezcla.

[000521] Se llevó a cabo operación de precolado utilizando los siguientes componentes de mezcla:

Agregado	Fino	Recursos Shaw	602 kg

		Arena	
Agregado	grueso	Coldstream de 3/8”	200 kg
Agregado	grueso	Granodiorita	839 kg
Cemento	Cemento	Maxcem	286 kg
Aditivo		Rheopel Plus	400 ml
Aditivo		Rheofit 900	350

[000522] Se utilizaron dos sensores de dióxido de carbono, el sensor 1 colocado adyacente a una escotilla de acceso a la mezcladora y el sensor 2 colocado en la ubicación de expulsión de la mezcladora, en una puerta que descarga a una correa. Se incrementó la dosis de CO_2 o se disminuyó dependiendo del desbordamiento, como se detectó por los dos sensores.

[000523] Están implicados en un enfoque de inyección de dos etapas.

[000524] 1. Relleno – alta velocidad de flujo para rellenar la mezcladora con CO_2.

[000525] 2. Suministro – velocidad de flujo más baja para mantener un suministro conforme se absorbe el CO_2 por el concreto.

[000526] El PLC se programó como sigue para realizar cambios con base en las lecturas de los sensores de CO_2:

[000527] El sensor 1 se va a colocar cerca de la puerta, el sensor 2 colocado cerca de la salida de mezcladora (medir cada sensor de forma separada)

[000528] Si el sensor 1 excede X ppm durante el flujo 1, ir al flujo 2

[000529] Si el sensor 1 excede X ppm durante el flujo 2, reducir el flujo por porcentaje de reducción

[000530] Si el sensor 2 alguna vez excede Y ppm, reducir máximo tiempo de mezcla por tiempo de reducción

[000531] Si cualquier sensor excede 5000 ppm durante más de 5 minutos, mostrar la alarma en la pantalla

[000532] Si cualquier sensor excede 5000 ppm durante más de 10 minutos, apagar sistema

[000533] Si cualquier sensor excede 9000 ppm apagar sistema

[000534] X e Y fueron programables bajo cada receta (esto permite cambio si una planta una alta referencia de CO_2 debido al polvo, etc.). El flujo 1 fue programable y fue el flujo que se utilizó para rellenar el espacio de cabeza de forma rápida (por lo general ~1500 LPM). El flujo 2 se calculó por el PLC y se basó en el tiempo de mezcla máximo, la dosis de CO_2 y el total ya en el espacio de cabeza. El tiempo de mezcla máximo fue programable y fue el tiempo de inyección deseado total. El porcentaje de reducción y el tiempo de reducción fueron programables y se determinaron por el porcentaje para reducir cualquiera de la velocidad de flujo (reduciendo así la dosis de CO_2 total) o el tiempo de mezcla máximo (incrementando así la velocidad de flujo para inyectar en menos tiempo).

[000535] El sistema se utilizó durante varios lotes y los resultados se muestran en la Figura 53. La línea superior de la Figura 53 indica el CO_2 real dosificado, y la segunda línea indica CO_2 detectado en la mezcla. La eficiencia de la absorción varió de 60 a 95%. Las dos líneas inferiores indican valores máximos detectados en el sensor 1 (todos los lotes que incluyen el lote 3) y el sensor 2 (lotes 4-10). Valores promedio pueden producir un mejor resultado.

[000536] Este ejemplo demuestra que los sensores de dióxido de carbono se pueden utilizar para ajustar el flujo de dióxido de carbono en una operación de mezcla de cemento, produciendo eficiencias de absorción de hasta 95%.

Ejemplo 24

[000537] Este ejemplo demuestra el uso de dióxido de carbono

sólido (hielo seco) como un modo de administración para dióxido de carbono en la mezcla de concreto.

[000538] Una partícula sólida de dióxido de carbono se sublimará cuando esté en contacto con el agua de mezcla, liberando así gas de dióxido de carbono durante el período de tiempo requerido para consumir la partícula. Para lograr una dosificación extendida de dióxido de carbono, por ejemplo, en un camión de mezcla final, se puede añadir dióxido de carbono sólido en la masa y cantidad deseadas, y en forma y tamaño apropiados, para proporcionar efectivamente una dosis dada de dióxido de carbono durante una duración de tiempo deseada. La forma y el tamaño del dióxido de carbono sólido determinará el área superficial total del sólido; entre mayor sea el área superficial, mayor será la velocidad de sublimación del hielo seco.

[000539] Se utilizaron dos procedimientos de dosificación. En el primero, se utilizó hielo seco en la forma de gránulos de una pulgada (2.54 cm). En el segundo, se cortó una losa cuadrada con una sección transversal de 2'' por 2'' (5.08 cm x 5.08 cm) a la longitud apropiada para proporcionar la dosis deseada. Se llevó a cabo la mezcla ya sea en una mezcladora de tambor pequeño (17 litros) o mezcladora de tambor grande (64 litros), y se llevó a cabo la mezcla con una tapa a menos que se indicara lo contrario.

[000540] Administración de gránulos:

[000541] Se utilizó un diseño de mezcla de 400 kg/m^3 de cemento, 175 kg/m^3 de agua, 1040 kg/m^3 de piedra, y 680 kg/m^3 de arena. El cemento en el lote 1 fue 26.14 kg.

[000542] En un primer lote, se añadió CO_2 a dosis de 0.5% bwc de gránulos (34g) con los otros materiales de mezcla y se mezcló el concreto durante 2 minutos. Se encontró que la absorción fue 0.14% bwc, y se notó un incremento de temperatura de 1°C. Los gránulos de hielo seco no se habían

sublimado completamente después de 2 minutos de mezcla.

[000543] En un segundo lote, se añadió CO_2 a 1.0% bwc de dosis de gránulos (68g) con los otros materiales de mezcla y se mezcló el concreto durante 4 minutos. La absorción de CO_2 fue 0.3% bwc con un incremento de temperatura de 1°C. Después de 4 minutos de mezcla, todos los gránulos de hielo seco se habían sublimado completamente.

[000544] En un tercer lote, se añadió CO_2 a 2.75% bwc de dosis de gránulos (186g) con los otros materiales de mezcla y se mezcló el concreto durante 4 minutos. La absorción de CO_2 fue 0.6% bwc con un aumento de temperatura de 2°C; todos los gránulos de hielo seco se sublimaron después de 4 minutos de mezcla.

[000545] Con el uso de gránulos, la absorción incrementó con el incremento de dosis de gránulos, y tomó de 2 a 4 minutos para que se sublimaran completamente los gránulos de este tamaño y en estas dosis. La absorción de CO_2 fue de baja eficiencia, y la absorción de gas estuvo asociada con el endurecimiento de la mezcla.

[000546] Administración de losa:

[000547] En una primera prueba, se utilizó el mismo diseño que para las pruebas de gránulos. Se cortó la losa de 2x2'' (5.08x5.08 cm) a 5.5'' (13.97 cm) de largo para una dosis de 2% de CO_2 bwc. En un primer lote, se añadió agua en dos adiciones. Se llevó a cabo una primera adición de agua a w/c de 0.2, se añadió a la losa de hielo seco y se mezcló durante 40 segundos. Se añadió el agua final a la cantidad de agua total y se mezcló concreto durante 6 minutos adicionales. La absorción de CO_2 fue 0.95% y no se observó ningún incremento de temperatura. En un segundo lote, se llevaron a cabo 4 adiciones en serie de losas de hielo seco. Toda el agua se añadió a la mezcla (w/c de 0.44) entonces se añadió una losa de hielo seco para una dosis de 2% bwc. Se mezcló el concreto

durante 6 minutos. La absorción de CO_2 fue 0. 67% y no se observó ningún incremento de temperatura. Se añadió una losa adicional de CO_2 a la mezcla, a 2% bwc para una dosis total de 4% bwc, y se llevaron a cabo 6 minutos adicionales de mezcla. La absorción de CO_2 fue 1.67%, y no se observó ningún incremento de temperatura. Se añadió una losa adicional de hielo seco a la mezcla, a 2% bwc para una dosis total de 6% bwc, y se llevaron a cabo 6 minutos adicionales de mezcla. La absorción de CO_2 fue 2.33%, y se observó un incremento de temperatura de 3.5°C. Se añadió una losa adicional de hielo seco a la mezcla, a 6 % bwc para una dosis total de 12% bwc, y se llevaron a cabo 6 minutos adicionales de mezcla. La absorción de CO_2 fue 3.44%, y se observó un incremento de temperatura de 5°C. En esta prueba, en la cual la mezcla fue a máxima velocidad, se sublimó completamente todo el dióxido de carbono al final de cada tiempo de mezcla. Se llevaron a cabo pruebas posteriores a menor velocidad representativa de un camión en tránsito en lugar de un camión en etapa de mezcla inicial.

[000548] En una segunda prueba, se utilizó el mismo diseño de mezcla que para los gránulos excepto la porción de agua final fue 200 kg/m^3. Se llevó a cabo mezcla lenta (~ 1 RPM) en una mezcladora de 65L, con una losa de hielo seco añadida 2 minutos después del contacto inicial de cemento y agua, para una dosis de 2% bwc. Se continuó la mezcla durante un total de 36 minutos. La absorción de CO_2 fue 0.95%, y se observó un incremento de temperatura de 3.5°C. El asentamiento de la mezcla de concreto antes de la adición de CO_2 fue 6’’ (15.24 cm), y 3’’ (7.62 cm) después de 36 minutos de mezcla bajo CO_2.

[000549] En una tercera prueba, se utilizó el mismo diseño que para las pruebas de gránulos. Se añadió agua a una w/c inicial de 0.2, se añadió una losa de hielo seco para una

dosis de 0.2% bwc, y se mezcló la mezcla de concreto durante 40 segundos a velocidad completa (45 RPM) entonces se añadió el resto del agua, a un a w/c de 0.45 y la mezcla se mezcló durante 36 minutos de mezcla lenta (tránsito, ~ 1 RPM) del lote en una mezcladora de 65L. La absorción de CO_2 fue 0.75%, y se observó un incremento de temperatura de 1.5°C. El asentamiento fue de 5.5'' (13.97 cm) después de 36 minutos de mezcla. Se asumió que un asentamiento de control (sin dióxido de carbono) fue ~6'' (15.24 cm). Entonces se añadieron otros 2% bwc de losa de hielo seco, y el concreto se mezcló a alta velocidad durante 11 minutos adicionales. La absorción de CO_2 fue 1.66%. El asentamiento disminuyó de 5.5'' a 2.5'' (13.97 cm a 6.35 cm).

[000550] En una cuarta prueba, se utilizó el mismo diseño de mezcla que para las pruebas de gránulos, excepto que el agua fue 195 kg/m^3. Se realizaron dos lotes en los cuales se añadió hielo seco a una dosis de 2% bwc 2 minutos después del contacto inicial de cemento y agua. En un primer lote, se mezcló el concreto con tapa a una mezcla de tránsito rápido (~2 RPM) durante 30 minutos. La absorción de CO_2 fue 1.3% bwc, y se observó un incremento de temperatura de 5°C. El asentamiento fue 0'' (0 cm) después de la mezcla, en comparación con asentamiento de 6.5'' (16.51 cm) en el control (sin dióxido de carbono). En el segundo lote, la mezcla se hizo sin cubrir a una mezcla de transito rápido durante 29 minutos. La absorción de CO_2 fue de 0.7% bwc, y se observó un incremento de temperatura de 0.2°C. El asentamiento fue de 3'' (7.62 cm) después de 29 minutos de mezcla, en comparación con asentamiento de 6.5'' (16.51 cm) en el control (sin dióxido de carbono).

[000551] Este ejemplo demuestra que el tamaño y la forma del hielo seco se pueden utilizar para controlar la administración, y que se pueden manipular diferente tiempos

de adición, velocidades de mezcla, contenidos de agua, y otras variables para modular la cantidad de dióxido de carbono absorbido por el concreto y el efecto del dióxido de carbono en estos factores como el asentamiento.

Ejemplo 25

[000552] Este ejemplo ilustra el uso de dióxido de carbono de baja dosis para proporcionar hidratación acelerada, desarrollo temprano de resistencia y fijación, con impacto mínimo en la reología y resistencia de edad tardía.

[000553] Pruebas de mortero

[000554] En un primer conjunto de pruebas, se prepararon morteros. Los morteros se prepararon con 1350 g de arena, 535 de cemento, y 267.5 g de agua, y se homogenizaron en una mezcladora de tipo paletas al mezclar a baja velocidad durante ~2 min, entonces se removieron muestras para análisis de CO_2 y calorimetría. El mortero entonces se expuso a gas de CO_2 a una velocidad de flujo de ~0.15 LPM durante 2 minutos y se removieron muestras adicionales. Este mismo mortero se expuso a 3-7 rondas sucesivas de carbonatación total, con muestras removidas entre cada ronda.

[000555] En una prueba, se utilizó cemento Holcim GU. Los niveles de carbonatación de mortero logrados en rondas sucesivas de exposición a dióxido de carbono fueron 0, 0.05, 0.10, 0.20, 0.48, y 0.70% bwc. La Figura 54 representa datos en curvas de energía de calorimetría isotérmica para los diferentes niveles de carbonatación, que muestran que al carbonatar el mortero se puede acelerar la velocidad de hidratación de cemento (las curvas cambiaron a la izquierda y se volvieron más inclinadas con la carbonatación). La evolución de calor total también mejoró en edades tempranas con carbonatación de los morteros (Figura 55). Además, se aceleró el comienzo tanto de la fijación final como la inicial por la carbonatación, como se indica por las

mediciones de penetrómetro y se muestra en la Figura 56. Para estas mediciones, se preparó mortero como sigue: tamaño de lote de 5x en Hobart (lote normal modificado en escala a 500% para uso en una mezcladora más grande) 1337.5g de agua, 2675g de cemento y 5175g de arena. Se combinaron en mezcladora Hobart y se homogenizaron. Se carbonató a 1.0 LPM para 5 rondas de 2 minutos (es decir, muestras de 0, 2, 4, 6, 8, 10 minutos). Se llevó a cabo la medición de penetrómetro en la última prueba (exposición a CO_2 total de 10 minutos). La dosis esperada para 1 LPM durante 10 minutos es aproximadamente 20 g de CO_2, para una dosis total es aproximadamente 0.74% bwc. De Eltra: absorción de dióxido de carbono estimada a 0.10% bwc. La baja absorción pudo haber sido debido al espacio de cabeza/velocidad de flujo. Entonces un control se coló para comparación después de eso. Tamaño de lote de 2x en Kitchen Aid (mezcladora más pequeña): 1070g de cemento, 535g de agua, 2070g de arena.

[000556] Se observaron resultados similares para morteros preparados con cemento Lafarge Brookfield GU dosificado a 0, 0.07, 0.14, y 0.22% bwc de dióxido de carbono, como se muestra para hidratación en la Figura 57, así como desarrollo temprano de resistencia como se muestra en la Figura 58.

[000557] Pruebas de concreto

[000558] Las pruebas se extendieron a concretos. En un experimento típico se preparó un lote de concreto con las siguientes proporciones: 16.0 kg de arena, 23.80 kg de piedra, 9.18 kg de cemento, 3.15 kg de agua. Se homogeneizó el concreto en una mezcladora de tipo tambor al mezclar a baja velocidad durante ~2 min y se removieron muestras para análisis de CO_2 y calorimetría. Entonces el concreto se expuso a gas de CO_2 a una velocidad de flujo de ~2.0 LPM durante 2 minutos y se removieron muestras adicionales. Este mismo concreto se expuso a tres ondas sucesivas de

carbonatación en total, con muestras removidas entre cada ronda. La absorción de CO_2 total para rondas sucesivas fue 0, 0.10, 0.15, y 0.20% bwc.

[000559] En una primera serie, se utilizó cemento LaFarge Brookfield GU en el concreto. Las curvas de energía de calorimetría muestran la aceleración de concreto. Ver Figura 59. Las curvas de energía de calorimetría muestran una cantidad incrementada de calor liberado en todas las edades en el concreto carbonatado. Ver Figura 60. También se aceleró el desarrollo temprano de resistencia en los concretos carbonatados. Ver Figura 61. Además, las mediciones de tiempo de fijación confirmaron que la aceleración observada de hidratación traducida a fijación inicial (500 psi) y final 4000 psi) aceleradas en el concreto carbonatado. La Figura 62 muestra lecturas de penetrómetro con el paso del tiempo para concreto carbonatado (aproximadamente absorción de 0.20% bwc de CO_2) en comparación con el no carbonatado.

[000560] Se obtuvieron resultados similares en una segunda serie, donde se produjo concreto con cemento St. Mary's B; la carbonatación a 0.08, 0.17 y 0.35% bwc todas produjeron resistencia a la compresión incrementada de 8 horas y 12 horas en comparación con el control no carbonatado. Ver Figura 63.

[000561] Se produjeron otros concretos utilizando cemento St. Mary's HE y cemento Holcim GU (carbonatado a un solo nivel de absorción de CO_2). Se combinaron los concretos a una exposición a dióxido de carbono constante de dióxido de carbono administrado a una velocidad de 0.10-0.15% bwc por minuto durante tres minutos (2 minutos con flujo de dióxido de carbono y un minuto de tapa sobre la mezcla después de la administración) para una dosis total de 0.20-0.30% de dióxido de carbono bwc. El nivel de carbonatación fue 0.15% bwc en la mezcla de Holcim GU y 0.26% bwc en la mezcla de St. Mary's

HE. Ver Tabla 21.

Tabla 21 Propiedades de concretos carbonatados de baja dosis

ID de cemento	Aceleración de fijación inicial (minutos)	Aceleración de fijación final (minutos)	Resistencia en 8 hrs (%) de control	Resistencia en 8 hrs (MPa)
St. Mary's HE	55	41	133	2.2
Holcim GU	61	70	149	1.3

[000562] En un ensayo industrial, un camión que transporta 2 m^3 de concreto se llevó a laboratorio, con un diseño de mezcla de 1930 kg de arena, 2240 kg de piedra, 630 kg de cemento LaFarge Brookfield GU, y 238 kg de agua. Primero se removió una muestra de concreto no carbonatado del camión para colar muestras de control. Entonces el camión se sometió a 6 dosis separadas de 0.05% bwc de CO_2. Se removió suficiente concreto para satisfacer demandas de colado después de cada dosis (~60L). Las nuevas propiedades del concreto se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22 Nuevas propiedades de concreto de mezcla final a carbonatación de baja dosis

# de muestra	ID de muestra	Dosis de CO_2 total (bwc)	Hora de descarga	Temperatura en descarga (°C)	Asentamiento (pulgadas)	Contenido de aire (%)	Dosis de anti-espumante (% bwc)	Dosis de Mighty 21ES (%bwc)
1	Control	0	8:45	14.7	3.5	1.5	0.10	0.10

2	CO_2-1	0.05	8:50	16.4	3.5	n/a	0.10	0.10
3	CO_2-2	0.10	9:04	16.7	3.5	n/a	0.10	0.10
4	CO_2-3	0.15	9:12	18.0	3.0	n/a	0.10	0.10
5	CO_2-4	0.20	9:26	18.4	3.0	n/a	0.10	0.10
6	CO_2-5	0.25	9:35	18.5	1.5	n/a	0.10	0.10
7	CO_2-6	0.30	9:50	18.7	2.0	n/a	0.10	0.15

[000563] En general, la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto incrementó con cada ronda adicional

de carbonatación. Esto fue más evidente en edades tempranas (hasta 74% de incremento en 12 horas) pero persistió hasta edades tardías (incremento de 5% de resistencia a la compresión en 7 días). Ver Figuras 64 (12 horas), 65 (16 horas), 66 (24 horas), y 67 (7 días).

[000564] Este ejemplo ilustra que el uso de dióxido de carbono de baja dosis en mezclas de mortero y concreto puede acelerar la fijación y desarrollo de resistencia en comparación con mezclas de mortero y concreto no carbonatadas.

Ejemplo 26

[000565] Este ejemplo demuestra el uso de gluconato de sodio en un concreto de mezcla seca, ya sea carbonatada o no carbonatada.

[000566] La mezcla fue 200g de piedra, 1330g de arena, 330g de cemento Holcim GU, y 130g de agua. El ciclo de mezcla fue:

[000567] Mezclar agregados y agua durante 30s

Añadir cemento y mezclar 30s

Mezcla de 60s, con carbonatación si se requiere

Añadir aditivo sin mezclar 30s

Compactar cilindros utilizando martillo Proctor

Las dosis empleadas fueron 0, 0.02%, 0.04% y 0.06% de gluconato de sodio en masa de cemento.

[000568] La Figura 68 muestra la absorción de CO_2 de especímenes carbonatados. Las masas de los cilindros preparados, un indicador para densidad ya que todos los volúmenes de cilindro son sustancialmente iguales, mostraron que la carbonatación dio por resultado un déficit de masa de 8.4% en comparación con el control, pero que la adición de gluconato de sodio incrementó la masa de los especímenes carbonatados, proporcionada la dosis, por lo que a una dosis de 0.06% de gluconato de sodio, se redujo el déficit de masa a 5.5%, mientras que ninguna de las tres dosis de gluconato

de sodio tuvo un efecto en la compactación de las muestras de control. Ver Figura 69 y 70. Se cuantificó el retardo a través de calorimetría al determinar la cantidad de energía liberada a través de las primeras 6 horas después del inicio de la mezcla. La carbonatación provocó una disminución en la energía liberada, como lo hizo la adición de gluconato de sodio; en especímenes carbonatados la reducción en la energía liberada fue 19% en la dosis más alta de gluconato de sodio, mientras que en especímenes no carbonatados la reducción en energía liberada fue 53% en la dosis más alta de gluconato de sodio. Ver Figura 71 y 72.

Ejemplo 27

[000569] Este ejemplo demuestra los efectos del incremento de cal libre en absorción de dióxido de carbono e hidratación.

[000570] En una primera prueba, se prepararon morteros con CaO (añadida (1.5% bwc), NaOH (2.2% bwc), o $CaCl_2$ (3% bwc), carbonatados, y comparados con control. Se utilizó una mezcla de mortero estándar de 535g de cemento, 2350 g de arena, y 267.5g de agua. El agua y la arena se combinaron y mezclaron durante 30s, seguido por adición de cemento (con polvo añadido si se utiliza) y una mezcla adicional de 60s. Se grabó la temperatura inicial, entonces se mezcló el mortero durante 30s bajo 20 LPM de flujo de CO_2, se detuvo la mezcla y se grabó la temperatura y se removió una muestra para análisis de CO_2, entonces se reasumió la mezcla y la exposición a CO_2 durante otros 60s y se presentó el muestreo, durante un total de 5 minutos de exposición a CO_2. Los resultados se muestran en la Figura 73. La adición de las especies alcalinas, cal libre (CaO) o NaOH, incrementó la tasa de absorción de CO_2, en tanto que la adición de $CaCl_2$ disminuyó la tasa de absorción. Las velocidades de absorción fueron: absorción de 0.34% de CO_2/min (sin aditivo);

absorción de 0.56% de CO_2/min (CaO), un incremento de 66%; absorción de 0.69% de CO_2/min (NaOH), un incremento de 104%; y absorción de 0.23% de CO_2/min ($CaCl_2$), una disminución de 34%.

[000571] En una segunda prueba, se compararon dos morteros de prueba, un mortero convencional y uno que incluyó una adición de 1.5% de CaO bwc. Las mezclas de mortero fueron como en la primera prueba. El cemento utilizado tuvo un contenido de cal libre de 0. 31% bwc antes de la adición de CaO adicional; se considera que esto es un bajo nivel de cal libre. Se sometió la mezcla de mortero a 0, 30, 60, o 90s de CO_2 a 20 LPM, y se midió la hidratación por calorimetría. La liberación de energía continúa hasta 24 horas en intervalos de 6 horas.

[000572] Los resultados se presentan en la Figura 74. Cuando se compararon morteros de control (sin adición de CaO) carbonatados vs morteros no carbonatados, la liberación de energía con 30s de CO_2 fue 19% mayor en el mortero carbonatado comparado con el no carbonatado en 6 horas, disminuyendo a 7% menor en 24 horas; la liberación de energía con 60s de CO_2 fue 23% mayor en el mortero carbonatado comparado con el no carbonatado en 6 horas, disminuyendo a 12% menor en 24 horas; la liberación de energía con 90s de CO_2 fue 21% mayor en el mortero carbonatado comparado con el no carbonatado en 6 horas, disminuyendo a 17% menor en 24 horas. Ver Figura 75. En general, la adición de CaO a la mezcla incrementó tanto la absorción de CO_2 para un tiempo de exposición dado, e incrementó la liberación de energía en un punto de tiempo dado, en comparación con las muestras sin adición de CaO. Cuando se comparó con un mortero de control que no contenía ninguna parte de CaO añadido, los morteros con CaO añadido mostraron liberación de energía a 97-99% del control en todos los puntos del tiempo en muestras no

carbonatadas; en muestras expuestas a 30s de CO_2, los morteros con CaO añadido mostraron liberación de energía 20% más alta que los morteros sin CaO añadido en 6 horas, disminuyendo a 11% más alta en 24 horas, y la absorción de CO_2 fue 56% mayor que en morteros sin CaO añadido; en muestras expuestas a 60s de CO_2, los morteros con CaO añadido mostraron liberación de energía 33% más alta que los morteros sin CaO añadido en 6 horas, disminuyendo a 15% más alta en 24 horas, y la absorción fue 151% mayor en morteros sin CaO añadido; en muestras expuestas a 90s de CO_2, los morteros con CaO añadido mostraron liberación de energía 23% más alta que los morteros sin CaO añadido en 6 horas, disminuyendo 9% más alta en 24 horas, y la absorción fue 151% mayor que en morteros sin CaO añadido. Ver Figura 76.

[000573] Este ejemplo demuestra que la adición de cal libre (CaO) a un mortero mejora tanto la tasa de absorción de dióxido de carbono así como la hidratación, cuando se compara con morteros sin cal libre añadida.

[000574] Los ejemplos 28-32 están dirigidos a administración de bajas dosis de dióxido de carbono a camiones de mezcla final, como un gas (ejemplo 27) o líquido que se convierte a sólido y gas (ejemplos 29-32), bajo diferentes condiciones.

Ejemplo 28

[000575] Este ejemplo es una ilustración de tratamiento de baja dosis de dióxido de carbono gaseoso de una mezcla de concreto en el tambor de un camión de mezcla final en un momento significativamente después del procesamiento por lotes del concreto, y sus efectos en la resistencia temprana.

[000576] Se dosificó el dióxido de carbono en el tambor de un camión de mezcla final. El dióxido de carbono fue gaseoso. Se añadió el dióxido de carbono a la mezcla comenzando aproximadamente 70 minutos después del procesamiento por lotes, en múltiples etapas para dar una mezcla de concreto

con dosis crecientemente mayores de dióxido de carbono de tal forma que la adición final fue aproximadamente 135 minutos después del procesamiento por lotes. Por lo tanto la dosificación de CO_2 fue adecuada después de que inició la mezcla, similar a suministrar CO_2 a un camión en tránsito a o en un sitio de trabajo en lugar de durante el procesamiento por lotes.

[000577] El diseño de mezcla fue mezcla de losa a 30 MPa, carga de 2 m^3, camión con menos de la mitad de lleno.

1930 kg de arena

2240 kg de piedra

630 kg de Cemento GU

238 kg de agua

[000578] Se añadieron aditivos en el sitio de prueba antes de cualquier muestreo-anti-espumante 0.10% bwc, superplastificante (Mighty ES) 0.10% bwc. Se incrementó el Mighty ES para la muestra final.

[000579] Se añadió CO_2 al tambor de un tanque de gas con un regulador. El flujo fue ~80 LPM durante 2 minutos para cada dosis de CO_2. La presión de línea fue de 70 psi. Mezcla más rápida de camión (25 RPM) "después de dosis" durante ~60s. Tiempo restante de mezcla de tránsito (lenta, 5 RPM).

[000580] La dosificación fue de una forma de serie en el mismo lote de concreto-dosis, muestra, siguiente dosis, muestra, siguiente dosis, etc.

[000581] La hora de descarga indica cuándo se muestreo el concreto. La dosificación se habría presentado dentro de los 5 minutos inmediatamente precedentes.

[000582] La Tabla 23 muestra las condiciones para cada muestra:

Tabla 23 Condiciones para diferentes muestras de dióxido de carbono de baja dosis

ID de muestra	Control	CO2-1	CO2-2	CO2-3	CO2-4	CO2-5	CO2-6
Tiempo de descarga (min)	74	79	93	101	115	124	139
Dosis de CO_2 total (%bwc)	0	0.05%	0.10%	0.15%	0.20%	0.25%	0.30%
Temperatura (°C)	14.7	16.4	16.7	18	18.4	18.5	18.7
Asentamiento (pulgadas)	3.5	3.5	3.5	3	3	1.5	2
Contenido de aire (%)	1.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Anti-espumante(%bwc)	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%
Mighty ES (%bwc)	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.15%
Absorción de CO_2 (%bwc)	-	Poco concluyente					

[000583] Las resistencias de 12 horas, 16 horas, 24 horas, 7 días, 28 días se muestran en la Tabla 24 (valores absolutos) y Tabla 25 (valores con respecto al concreto no carbonatado, de control). Se tomaron tres especímenes en cada edad como cilindros de 4''X8'' (10.16 cm X 20.32 cm) con tapas

terminables reutilizables. Los especímenes se mantuvieron en almacenamiento de curado húmedo hasta la prueba. Los datos de calorimetría se muestran en las Figuras 77A (potencia vs tiempo) y 77B (energía vs tiempo) para control, CO2-1, 2, y 3 y en las Figuras 78A (potencia vs tiempo) y 78B (energía vs tiempo) para control, CO2-4, 5, y 6.

Tabla 24 Resistencias a la compresión, absolutas (MPa)

ID	Control	CO2-1	CO2-2	CO2-3	CO2-4	CO2-5	CO2-6
12 hrs	1.7	2.0	2.0	2.7	2.7	2.4	2.9
16 hrs	5.9	6.4	6.0	6.5	6.8	6.0	6.5
24 hrs	12.8	13.3	13.3	13.5	13.7	13.5	13.9
7 días	31.5	31.7	31.3	33.1	32.9	32.6	33.1
28 días	37.3	37.9	38.7	38.0	38.9	38.7	39.1

Tabla 25 Resistencias a la compresión, con respecto a la mezcla no carbonatada

ID	Control	CO2-1	CO2-2	CO2-3	CO2-4	CO2-5	CO2-6
12 hrs	100%	123%	119%	166%	163%	145%	174%
16 hrs	100%	109%	103%	111%	116%	102%	110%
24 hrs	100%	104%	104%	105%	107%	105%	109%
7 días	100%	101%	100%	105%	105%	104%	105%
28 días	100%	101%	104%	102%	104%	104%	105%

[000584] La fijación también se aceleró fijamente en la dosis más alta de CO_2.

[000585] Los resultados muestran que en todos los casos, incluso en la dosis más baja de co2 (0.05% de CO_2 administrado, bwc), hubo un incremento en la resistencia temprana. En general, el beneficio de resistencia de CO_2 correspondió ampliamente al incremento de la dosis. El

beneficio estuvo más pronunciado en las edades más tempranas, aunque aún hubo un pequeño beneficio en 7 y 28 días.

[000586] Este ejemplo demuestra que dosis muy bajas de dióxido de carbono, añadido a mezclas de concreto después del procesamiento por lotes, provocan incrementos marcados en el desarrollo temprano de resistencia. Esto fue verdadero incluso para la dosis más baja de dióxido de carbono, 0.05%; a estas bajas dosis puede ser no detectable la carbonatación de concreto, pero sin embargo el dióxido de carbono actúa de una forma similar a un aditivo, en este caso como un acelerador potente de desarrollo temprano de resistencia.

Ejemplo 29

[000587] Este ejemplo es una ilustración de tratamiento de baja dosis de dióxido de carbono gaseoso y líquido de concreto en el tambor de un camión de mezcla final, de una fuente líquida de dióxido de carbono, en un momento significativamente después del procesamiento por lotes del concreto, y sus efectos en la resistencia temprana.

[000588] Se utilizó el diseño de mezcla de losa a 30 MPa del ejemplo 28. Se produjeron 2 metros cúbicos de concreto, el camión estuvo a menos de la mitad de lleno. Los aditivos añadidos en el sitio de prueba, súper plastificante TK – ADVA 140, 0.20% bwc, gluconato de sodio 0.05% bwc.

[000589] El CO_2 suministrado como un líquido, de un contenedor dewar con una manguera unida con un accesorio en el extremo y un orificio de tamaño definido, 5/64 de pulgada (0.198 cm). La dosificación se calculó con base en una serie de suposiciones y se aproxima. Las suposiciones fueron: 1) que el dióxido de carbono era 100% líquido en la línea corriente arriba del orificio, es decir, ningún flujo de fase 2; 2) el flujo se basó en una ecuación (no medido directamente); y 3) que no hubo ninguna caída de presión en la línea, que fue una presión constante de 300 psi. Se

dirigió el tubo al tambor del camión de mezcla final para administrar el dióxido de carbono gaseoso y sólido a la superficie de la mezcla de concreto.

[000590] La Tabla 26 muestra las condiciones para cada muestra. Se llevó a cabo dosificación por etapas, con la primera dosis administrada aproximadamente 45 minutos después del procesamiento por lotes, y la dosis final aproximadamente 110 minutos después del procesamiento por lotes. Por lo tanto, como con el ejemplo 28, la dosificación con CO_2 fue adecuada después de que comenzó la mezcla, similar al suministro de CO_2 a un camión en tránsito o un sitio de trabajo en lugar de durante el procesamiento por lotes.

Tabla 26 Condiciones para cada muestra

ID de muestra	Control	CO2-1	CO2-2	CO2-3	CO2-4	CO2-5	CO2-6
Tiempo de descarga (min)	28	48	63	78	88	99	113
Dosis de CO_2 total (%bwc)	0	0.10%	0.20%	0.30%	0.40%	0.50%	0.60%
Temperatura (°C)	19.5	20.7	20.8	21.2	21.5	22.3	23.2
Asentamiento (pulgadas)	7	4.5	3.75	4	3	2.75	2
Contenido de aire (%)	1.8	-	-	-	-	-	1.8
Absorción de CO_2 (%bwc)	0.00	-0.09	0.01	-0.01	0.01	0.07	0.10

[000591] Las resistencias de 8 horas, 12 horas, 24 horas, 7 días, y 28 días se muestran en las Tablas 27 (expresadas como resistencias absolutas) y 28 (expresadas con respecto al control no carbonatado). Se tomaron tres especímenes en cada

edad como cilindros de 4’’X8’’ (10.16 cm X 20.32 cm) con tapas terminales, reutilizables. Los especímenes se mantuvieron en almacenamiento de curado húmedo hasta la prueba. Los datos de calorimetría se muestran en las Figuras 79A (potencia vs tiempo) y 79B (energía vs tiempo) para control, CO2-1, 2, y 3 y en las Figuras 80A (potencia vs tiempo) y 80B (energía vs tiempo) para control CO2-5 Y 6.

Tabla 27 Resistencias a la compresión, absolutas (MPa)

	Control	CO2-1	CO2-2	CO2-3	CO2-4	CO2-5	CO2-6
8 hrs	1.8	1.9	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9
12 hrs	6.1	6.4	6.1	6.4	6.3	6.8	7.0
24 hrs	13.9	14.1	14.9	14.9	15.2	15.6	15.4
7 días	24.8	25.7	27.0	26.1	28.0	27.7	28.7
28 días	34.5	34.0	34.0	33.8	35.6	35.8	35.8

Tabla 28 Resistencias a la compresión, con respecto a mezcla no carbonatada

	Control	CO2-1	CO2-2	CO2-3	CO2-4	CO2-5	CO2-6
8 hrs	100%	107%	91%	97%	100%	98%	104%
12 hrs	100%	104%	100%	105%	103%	112%	114%
24 hrs	100%	101%	107%	108%	110%	113%	111%
7 días	100%	104%	109%	105%	113%	112%	116%
28 días	100%	99%	99%	98%	103%	104%	104%

[000592] La calorimetría muestra que el tratamiento de carbonatación ha incrementado la liberación de calor asociada con la hidratación de aluminatos, ver Figuras 79A, B, y 80A, B, y Tablas 27 y 28, que soportan el uso de calorimetría como un marcador alternativo o adicional a las mediciones de resistencia para determinar condiciones de dosificación deseadas u óptimas para carbonatación de una mezcla de concreto.

[000593] El beneficio de resistencia de CO_2 correspondió ampliamente al incremento de dosis. La fijación se aceleró ligeramente en la dosis más alta de CO_2.

[000594] Este ejemplo demuestra que la dosificación de dióxido de carbono a un tambor de mezcla final al utilizar una conversión de líquido a sólido/gas conforme se dosifica el dióxido de carbono es viable.

Ejemplo 30

[000595] Este ejemplo es una ilustración de tratamiento de baja dosis de dióxido de carbono gaseoso y sólido de concreto en el tambor de un camión de mezcla final, de una fuente líquida de dióxido de carbono, en un momento significativamente después del procesamiento por lotes del concreto, y sus efectos en la resistencia temprana. La mezcla de concreto incluyó un SCM (escoria). Se llevaron a cabo dos ensayos en días consecutivos. En el primer día se dosificó el dióxido de carbono en diferentes momentos hasta aproximadamente 70 minutos después del procesamiento por lotes. En el segundo día se dosificó el dióxido de carbono mucho más temprano antes del procesamiento por lotes, en aproximadamente 20 minutos.

[000596] Se procesó por lotes un camión de 4 m^3 de concreto relleno con un diseño de mezcla de piso de 25 MPa, más adelante:

Componente	Masa (kg/m^3)
Arena	959
Piedra	1080
Cemento	212
Escoria	53
Agua	155
SuperP (mL)	190

[000597] En el primer día del ensayo, un camión recibió tres dosis en serie de CO_2 después de la muestra de control. En el segundo día del ensayo, hubo sólo una dosis de CO_2. La inyección de CO_2 procedió durante 30-90 segundos con 90-180 segundos adicionales de mezcla de alta velocidad después de que se completó la inyección. Primero se procesó por lotes la carga solicitada de concreto al camión antes del transporte al foso de lavado donde el lote recibió ajustes de agua finales por el operador de camión. Tras la finalización de los ajustes de lote se removió una muestra de concreto no carbonatado (control), se llevó a cabo prueba de asentamiento, y se colaron especímenes de prueba. El camión entonces se sometió a tres dosis secuenciales de dióxido de carbono con evaluación de asentamiento y colado de concreto tratado entre cada ronda. Se grabó el tiempo entre el inicio de la mezcla y la aplicación de dióxido de carbono. Todas las muestras de prueba provinieron del mismo camión para aumentar al máximo los resultados experimentales de un solo lote y para aumentar al máximo cualquier variación de lote a lote que puede haber surgido. Se prosiguió la dosificación secuencial de dióxido de carbono para determinar una dosis óptima.

[000598] Mientras que el ensayo del Ejemplo 29 implicó un tubo soportado en su posición, los ensayos en lo sucesivo utilizaron un tubo inyector rígido. Una abrazadera permitió que se fijara a la estructura del camión y se mantuviera en su lugar. Este tipo de sistema es similar a un sistema portátil para dosificación de dióxido de carbono que se puede montar en el propio camión, por lo que la dosificación se puede hacer en cualquier momento antes, durante o después del procesamiento por lotes, como una dosis individual o como dosis por etapas.

[000599] Las condiciones se resumen en la Tabla 29.

Tabla 29 Condiciones en ensayo

Camión (día)	Código de muestra	Condición	Tiempo de descarga estimada (min)	Dosis de CO_2 Total (%bwc)	Absorción de CO_2 (%bwc)	Asentamiento (pulgadas)	Temp (°C)
1	1401	Control	23	-	-	3.5	23.9
	1402	CO_2	45	0.10%	Poco concluyente	3.0	-
	1403	CO_2	59	0.30%	Poco concluyente	3.0	25.6
	1404	CO_2	74	0.60%	Poco concluyente	2.0	26.5
2	1501	Control	10	-	-	2.5	23.7
	1502	CO_2	20	0.30%	Poco concluyente	2.0	24.9

[000600] Se ejecutaron ensayos en dos días consecutivos. Las resistencias a la compresión en 1, 3, 7, 28 y 56 días para muestras tomadas en el primer día se muestran en las Figuras 81-85 y la calorimetría para muestras del primer día se muestran en la Figura 86A (potencia vs tiempo) y 86B (energía vs tiempo). Se utilizaron tres especímenes para 1 día, dos especímenes en todas las otras edades. Se sometieron cilindros de 4'' X 8'' (10.16 cm X 20.32 cm) a molienda final para crear caras planas y se mantuvieron en almacenamiento de curado húmedo antes de la prueba. Para el segundo día, las Figuras 87-91 muestran resistencia en 1, 3, 7, 28, y 56 días y la Figura 92A (potencia vs tiempo) y 92B (energía vs

tiempo) muestran calorimetría. Se puede ver que para ambos días, los cambios en las curvas de calorimetría coinciden con el incremento en la resistencia, con el cambio más grande visto para la dosis de dióxido de carbono en un día dado que dio la mayor aceleración de desarrollo de resistencia, ver, por ejemplo, Figura 86A. Se utilizaron tres especímenes para un día, dos especímenes en todas las otras edades. Se sometieron cilindros de 4'' X 8'' (10.16 cm X 20.32 cm) a molienda final para crear caras planas y se mantuvieron en almacenamiento de curado húmedo antes de las pruebas.

[000601] Parece que la inyección de dióxido de carbono no tuvo ningún efecto en el período de inducción. La etapa de aceleración de hidratación para cada muestra estuvo en marcha por 4 horas. Por 7 horas la evolución de calor de las muestras carbonatadas se presentó a una tasa incrementada (como se indica en un cambio a la izquierda de la forma de las curvas) donde el efecto fue mayor con la mayor dosis de dióxido de carbono. Además, la liberación de calor en el pico de la hidratación temprana se encontró que incrementa en magnitud y se cambia a momentos más tempranos conforme se incrementó la dosis de dióxido de carbono. Una interpretación alternativa de los datos considera la energía total liberada con el tiempo. La liberación de energía con respecto al control se puede cuantificar en diferentes edades y utilizar como una métrica del progreso de hidratación. Se muestra que en 6 horas los lotes carbonatados habían liberado aproximadamente 10% menos energía que el control. La baja dosis había coincidido con el control en 11 horas y permaneció equivalente después de eso. La segunda dosis de CO_2 alcanzó 101% del control en 9 horas antes de mejorar a 12% mejor en 12 horas y finalizando en 6% más energía liberada a través de 20 horas. La dosis más alta alcanzó 102% de control en 10 horas, 13% mayor en 12 horas y 4% de

incremento a través de 20 horas. Se observa que el dióxido de carbono puede haber lentificado ligeramente la hidratación en las primeras 8 horas pero en el intervalo de 10 a 14 horas se puede lograr un efecto de aceleración en las dos dosis más altas. Esto corresponde potencialmente a un beneficio de desempeño tal como una mayor resistencia en estos tiempos.

[000602]

[000603] También se llevaron a cabo pruebas de resistencia, siguiendo la AASHTO TP 95-11 "Indicación de resistividad superficial de capacidad del concreto para resistir penetración de ion cloruro". Se midió la resistividad eléctrica y el riesgo evaluado de penetración de cloruro.

[000604] Se resumen las normas en la Tabla 30, más adelante.

Tabla 30 Normas ASTM y AASTO

Penetración de cloruro	ASTM C1202 RCPT de 56 días	AASHTO TP95-11 Resistividad eléctrica de 28 días
	Coulomb	Ωm
Alta	> 4000	< 45.93
Moderada	2000 - 4000	45.93 - 91.86
Baja	1000 - 2000	91.86 - 183.7
Muy baja	100 - 1000	183.7 a 1837
Despreciable	< 100	>1837

Se resumen los resultados en la Tabla 31

Tabla 31 Resultados de resistividad para concretos carbonatados

	Resistividad eléctrica aparente, promedio (Ωm) y riesgo de penetración de cloruro para cinco edades de prueba (días)				
Muestra	1	3	7	28	56
1401	8.9	19.3	33.6	78.7	106.5
1402	8.8	18.9	25.5	74.1	112.0

1403	8.7	18.8	24.7	67.1	97.7
1404	8.9	20.3	24.1	70.2	101.8
1401	Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja
1402	Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja
1403	Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja
1404	Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja

Muestra	1	3	7	28	56
1501	9.1	16.2	22.9	54.7	85.0
1502	8.9	16.1	22.0	50.8	82.8
1501	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada
1502	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada

[000605] El tratamiento de CO_2 no impactó la resistividad con valores para el control y CO_2 “moderada” en 28 días y “baja” en 56 días.

[000606] El uso de lote por etapas vs individual indica que el lote por etapas (1403), cuando se compara con la dosis individual (1502), ambos a 0.30%, produjo un incremento más robusto en la resistencia. Esto puede ser debido al procesamiento por lotes, o puede ser debido al tiempo que se aplicó el dióxido de carbono después de la mezcla (60 min vs 20 min), o ambos. El beneficio más alto estuvo en el lote con la dosis de tres etapas (1404), con beneficio de 13 a 26% a lo largo del período de prueba. Los resultados de calorimetría mostraron aceleración y mayor liberación de energía para las muestras por etapas.

[000607] Este ejemplo demuestra que el dióxido de carbono a bajas dosis incrementa la resistencia temprana con beneficios mantenidos en puntos de tiempo posteriores, que el dióxido de carbono no afectó la resistividad, y que el tiempo después del procesamiento por lotes de adición de dióxido de carbono

y/o procesamiento por etapas puede afectar la magnitud del incremento en la resistencia temprana. Finalmente, el ejemplo ilustra el uso de dióxido de carbono en una mezcla que contiene un SCM (escoria), con resultados benéficos vistos para el concreto carbonatado vs no carbonatado.

Ejemplo 31

[000608] Este ejemplo es una repetición del Ejemplo 30, con algunas modificaciones. Se utilizó el mismo diseño de mezcla (es decir, concreto con SCM). Un camión de 4 m^3 de concreto recibió tres dosis en serie de CO_2 después de la muestra de control. La inyección de CO_2 prosiguió durante 30-90 segundos con 90-180 segundos adicionales de mezcla de alta velocidad después de que se completó la inyección. Se utilizó el mismo sistema de inyección de dióxido de carbono que el Ejemplo 30. El ensayo del Ejemplo 31 fue una repetición del Ejemplo 30 para incrementar la confianza en los resultados. Sin embargo, en tanto que se administra una inyección de CO_2 a un camión detenido en el foso de lavado (como en el Ejemplo 30) es potencialmente factible, que la interrupción de la administración en múltiples dosis represente un retardo posible que se evita de manera preferente y no es universalmente aplicable. Existen muchos ejemplos en donde el concreto se procesa por lotes y se mezcla de forma central excluyendo de esta forma la necesidad de un foso de lavado y una pausa relacionada. Por lo tanto el Ejemplo 31 incluyó un modo de inyección de CO_2 alternativo (código de muestra 805, más adelante) en donde se añadió el gas durante la fase de mezcla/procesamiento por lotes inicial.

[000609] El segundo camión tuvo una dosis de CO_2, equivalente a dos dosis del primer camión (0.30% de dióxido de carbono bwc) pero se dosificó durante la mezcla. Las condiciones para las muestras en el ensayo se dan en la Tabla 32.

Tabla 32 Condiciones para muestras

Camión	Código de muestra	Condición	Tiempo de descarga estimada (min)	Dosis de CO_2 total (%bwc)	Absorción de CO_2 (%bwc)	Asentamiento (pulgadas)	Temp (°C)
1	801	Con-trol	21	-	-	3.5	22.4
	802	CO_2	30	0.10%	Poco concluyente	3.0	24.0
	803	CO_2	46	0.30%	Poco concluyente	2.5	24.7
	804	CO_2	55	0.60%	Poco concluyente	1.5	27.3
2	805	CO_2	-	0.3%	-	3.0	23.3

[000610] Las resistencias a la compresión absoluta se muestran en la Tabla 33 y las resistencias a la compresión con respecto al control no carbonatado se muestran en la Tabla 34. Las Figuras 93A (potencia vs tiempo) y 93B (energía vs tiempo) muestran datos de calorimetría para las diferentes dosis de dióxido de carbono.

Tabla 33 Resistencias a la compresión, absolutas

Resistencia a la compresión (MPa)					
	Control 0801	CO2 0802	CO2 0803	CO2 0804	CO2 0805
1 día	8.0	8.0	8.6	8.7	9.2
3 días	14.8	15.8	16.6	16.1	18.6

7 días	19.2	20.4	21.4	22.1	23.2
28 días	30.8	32.0	33.9	32.8	35.5
56 días	32.8	27.9	37.9	36.4	38.7
91 días	36.9	38.4	39.1	39.5	42.5

Tabla 34 Resistencias a la compresión, relativas

Resistencia con respecto al control					
	Control 0801	CO2 0802	CO2 0803	CO2 0804	CO2 0805
1 día	100%	99%	106%	108%	114%
3 días	100%	107%	112%	109%	126%
7 días	100%	106%	111%	115%	121%
28 días	100%	104%	110%	107%	115%
56 días	100%	85%	116%	111%	118%
91 días	100%	103%	106%	107%	115%

[000611] Como en el ejemplo 30, cuando se dosificó dióxido de carbono en etapas, se observó un beneficio de resistencia temprana (1 día) creciente con el incremento de la dosis, aunque el efecto no fue consistente en los puntos de tiempo posteriores. Sin embargo, a diferencia del ejemplo 30, la muestra de dosis individual, 0805, fue superior en resistencia en cada punto de tiempo a la misma dosis, administrada en dos etapas (0803). En este ejemplo, la dosis individual se dio durante el procesamiento por lotes en lugar de después del procesamiento por lotes. Este método superó todas las dosis por etapas en cada punto de tiempo.

[000612] Las tendencias de calorimetría fueron consistentes con el Ejemplo 30, es decir, dosis que dan la mayor aceleración de resistencia también mostraron el mayor cambio en las curvas de calorimetría. Los datos considerados como energía muestran la magnitud del efecto del dióxido de

carbono. La dosis más baja liberó 20% más energía que el control a través de 2 horas. El beneficio disminuyó a 7% en 7 horas antes de incrementar a 13% en 10 horas y después de eso la disminución fue equivalente al control. La dosis media de CO_2 fue 41% mayor que el control en 2 horas con el beneficio que disminuye a 9% en 8 horas. La liberación de energía saltó a 16% por delante del control en 10 horas antes de disminuir para que sea equivalente al control. Para la dosis más alta la energía estuvo entre 92% y 99% del control en las primeras 9 horas antes de saltar para que esté 9% adelante y después de eso que disminuye para que sea equivalente al control. Es evidente que las menores dosis de CO_2 tuvieron un efecto en la hidratación muy temprana y todas las dosis tuvieron un efecto notable alrededor de la marca de 10 horas. La forma de las curvas de potencia sugieren que este período de tiempo es consistente con el final del período de aceleración cuando la hidratación de silicato inicial comienza a lentificarse.

[000613] El lote que se dosificó con CO_2 durante el procesamiento por lotes (805) mostró una respuesta de calorimetría que pareció mostrar alguna parte de retardo con respecto al control (datos no mostrados). La evolución de calor fue más lenta a lo largo del intervalo de 7 a 13 horas. Después del retraso a 83% del control a lo largo de 11 horas la hidratación se aceleró y estuvo 5% adelante en 15 horas después de eso que incrementa 7% en 20 horas.

[000614] Se tomaron mediciones de resistividad aparente de acuerdo con el protocolo utilizado en el Ejemplo 31. Los resultados se muestran en la Tabla 34A

Tabla 34ª Resistividad aparente (Ω m) y riesgo de penetración de cloruro para especímenes de prueba en cinco edades diferentes

Código de	Condición	1 día	3 días	7 días	28 días	91

muestra						días
801	Control	9.6	14.9	21.0	58.3	123.4
802	0.1% CO_2	9.6	16.4	21.6	56.8	122.2
803	0.3% CO_2	9.2	15.9	20.9	59.6	123.7
804	0.6% CO_2	9.2	16.1	20.7	50.3	112.9
805	0.3% CO_2	10.1	18.0	23.3	61.8	129.8
801	Control	Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja
802	0.1% CO_2	Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja
803	0.3% CO_2	Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja
804	0.6% CO_2	Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja
805	0.3% CO_2	Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja

[000615] Las mediciones de resistividad aparente fueron consistentes con aquellas que se observaron en el Ejemplo 31 en la medida que las evaluaciones de los lotes carbonatados fueron equivalentes con el control. El riesgo de penetración de cloruro para todas las muestras se evaluó que fue moderado en 28 días y bajo en 91 días.

[000616] Este ejemplo confirma el beneficio consistente de dióxido de carbono de baja dosis en desarrollo temprano de resistencia y demuestra el efecto de tiempo de adición de dióxido de carbono en la magnitud del beneficio de resistencia. La adición de dióxido de carbono durante el procesamiento por lotes sería equivalente de la dosificación realizada en el patio, mientras que los otros tiempos de adición de dióxido de carbono durante la adición por etapas son similares a la dosificación durante el tránsito y/o en el sitio de trabajo.

Ejemplo 32

[000617] En este ejemplo, se añadió dióxido de carbono al concreto en camiones de mezcla final casi inmediatamente después del procesamiento por lotes, utilizando la misma dosis en dos camiones diferentes pero diferente tiempo para

administración del dióxido de carbono. Se utilizó un diseño de mezcla que contenía un SCM, en este caso, ceniza volante.

[000618] Se utilizaron tres camiones, cada uno de 8.5 m^3, por lo tanto estuvieron llenos estos camiones;

[000619] El diseño de mezcla fue:

868 kg de arena

1050 kg de piedra

282 kg de cemento

68 kg de ceniza volante

[000620] Se suministró CO_2 como un líquido utilizando una barra dirigiéndola al tambor. En este ejemplo el sistema sería equivalente a un sistema permanente en la planta de procesamiento por lotes.

[000621] Se suministró el CO_2 a concreto inmediatamente después de que el camión abandonó el lugar de lotes. Hubo aproximadamente 4 min de procesamiento por lotes/mezcla en el lugar, 2 min de reorientación del camión, y entonces se añadió el CO_2, como una dosis individual por camión. Esto sería equivalente a un esquema de dosificación en la planta de procesamiento por lotes. Sólo se dio una dosis por camión, que fue la misma dosis para cada camión pero dada a través de dos períodos de tiempo diferentes. Las condiciones para los camiones en el ensayo se dan en la Tabla 35

Tabla 35 Condiciones para muestras en ensayo

Camión	Condición	Dosis de CO_2 total (%bwc)	Absorción de CO_2 (%bwc)	Asentamiento (pulgadas)	Temp (°C)
1	Control	-	-	5.5	21.1
2	CO_2 - 1	0.50% durante 4 min	Poco concluyente	2.0	20.7
3	CO_2 - 2	0.50%	Poco	6.0	21.6

		durante 2 min	concluyente		

[000622] Se midieron las resistencias a la compresión en 1, 4, 7, y 28 días. Las resistencias a la compresión absoluta están dadas en la Tabla 36; las resistencias a la compresión con respecto al control están dadas en la Tabla 37. Los datos de calorimetría se muestran en las Figuras 94A (potencia vs tiempo) y 94B (energía vs tiempo). Se utilizaron tres especímenes en todas las etapas como cilindros de 4’’x8’’ (10.16 cm X 20.32 cm) con tapas terminales, reutilizables. Se utilizó almacenamiento de curado húmedo antes de las pruebas.

Tabla 36 Resistencias a la compresión, absolutas

Resistencia a la compresión (MPa)			
	Control	CO2-1	CO2-2
1 día	15.2	18.9	14.2
4 días	31.4	33.4	28.3
7 días	31.7	37.6	33.1
28 días	44.9	47.8	42.0

Tabla 37 Resistencias a la compresión, con respecto al control

Resistencia con respecto al control			
	Control	CO2-1	CO2-2
1 día	100%	125%	93%
4 días	100%	107%	90%
7 días	100%	119%	105%
28 días	100%	106%	94%

[000623] La resistencia en cada punto de tiempo fue superior en el concreto del camión dosificado durante 4 minutos (CO2-1) comparado con el camión dosificado durante 2 minutos (CO2-2), posiblemente debido a la administración más lenta se

permitió que el concreto fresco reaccionara más tiempo sin inundar el sistema.

[000624] El ejemplo ilustra que otra posibilidad para dosificación de dióxido de carbono puede ser después de que se añade el agua a la mezcla y comienza la mezcla, pero dentro de los minutos después de que se comienza la mezcla. En instalaciones con un foso de lavado, donde el camión se enjuaga antes de la salida y se comprueba la consistencia del concreto, un camión puede detenerse durante aproximadamente 10 minutos. Esto ofrece una oportunidad para dosificación de dióxido de carbono en este período de tiempo. Este ejemplo también ilustra el uso del dióxido de carbono de baja dosis con una mezcla que contiene un SCM, y resultados benéficos en desarrollo temprano de resistencia en comparación con control no carbonatado. Finalmente, este ejemplo ilustra además que los cambios en los datos de calorimetría se correlacionan con cambios de resistencia temprana.

Ejemplo 33

[000625] En este ejemplo, se llevó a cabo un método para tamizar un cemento particular para determinar dosificación óptima de dióxido de carbono.

[000626] El diseño de mezcla fue 1350 g de arena, 535 g de cemento, 267.5 g de agua.

[000627] El procedimiento fue:

Combinar arena y agua en mezcladora de cocina-mezclar 30s en configuración #2

Añadir cemento – mezclar 30s en configuración #2

Remover muestra no carbonatada para calorimetría y análisis de CO_2

Carbonatar durante 2 minutos 0.15 LPM

Remover muestra #2 para calorimetría y análisis de CO_2

Repetir pasos 4 y 5 tantas veces como se desee

[000628] En este ejemplo, se utilizó cemento Lafarge Brookfield, pero el procedimiento se puede utilizar para cualquier cemento para tamizado para dosificación óptima de dióxido de carbono.

[000629] Se observó un incremento en el calor liberado en edades tempranas (aceleración) para todas las dosis de CO_2. Son mejores las menores absorciones en edades posteriores; las dosis más altas tuvieron impacto negativo en la energía total. Ver Figuras 95-99. La Figura 95 muestra curvas de calorimetría (potencia vs tiempo) para 5 morteros con niveles variables de absorción de CO_2 (una muestra antes de carbonatación seguido por 5 rondas de carbonatación, cada una durante 2 min a 0.15 LPM). Las Figuras 96-99 dan los resultados del análisis de energía liberada con respecto al control no carbonatado en 4, 8, 12, y 16 horas.

[000630] Este ejemplo ilustra un método de determinación rápida de dosis óptima de dióxido de carbono para un segmento particular que se va a utilizar en, por ejemplo, una mezcla de concreto, al utilizar calorimetría como un marcador alternativo o adicional al desarrollo de resistencia.

Ejemplo 34

[000631] En este ejemplo, se probó la administración de CO_2 a través de agua carbonatada con el agua carbonatada que se utiliza como la única fuente de agua para un concreto.

[000632] Si se carbonata alguna parte de o toda el agua de mezcla en un concreto de mezcla húmeda, puede contener una cantidad de CO_2 que puede ser suficiente para obtener una dosis deseada de dióxido de carbono en el concreto para el uso de agua de mezcla carbonatada por separado, dependiendo de la dosis deseada; esto es especialmente verdadero para muchas mezclas de baja dosis. Por ejemplo, considérese una mezcla que es 350 kg/m^3 de cemento. Una dosis de CO_2 de 0.5% de bwc sería 1.75 kg de CO_2. A w/c de 0.45 hay 157.5 kg de

agua en un metro cubico. Por lo que una dosis de CO_2 de 0.5% sería 11.1 g de CO_2/L de agua. Esta cantidad de dióxido de carbono se transportaría por el agua carbonatada en aproximadamente 94 psi y 25°C. El agua más fría puede transportar más, particularmente si una fracción del agua va a permanecer sin carbonatar. Menores dosis que 0.5% son fácilmente logrables utilizando carbonatación del agua de mezcla, o una porción del agua de mezcla.

[000633] Por lo tanto, se exploró el uso de agua carbonatada como un portador de la baja dosis de CO_2.

[000634] Procedimiento de mezcla A – Control

1. Combinar 1350 g de arena y 53.5 g de agua en recipiente – mezclar 30s
2. Añadir 535 g de cemento a recipiente – mezclar 30s
3. Añadir 214 g de agua a recipiente durante ~10s – mezclar 30s
4. Mezclar mortero durante 2 minutos adicionales

[000635] Procedimiento de mezcla B – CO_2

1. Combinar 1350 g de arena y 535 g de cemento en recipiente – mezclar 30s
2. Añadir 267.5 g de agua carbonatada a recipiente – mezclar 30s. El agua carbonatada fue agua Perrier.
3. Mezclar mortero durante 2 minutos adicionales

[000636] En este ensayo, el agua de mezcla en el caso carbonatado se añadió como una adición, y se carbonató toda el agua de mezcla.

[000637] Sorprendentemente, la calorimetría indicó retardo de aproximadamente 2 a 4 horas. Ver Figura 100 (potencia vs tiempo) y 101 (energía vs tiempo). El momento en el cual se introduce el agua de mezcla carbonatada puede ser importante, y que un paso de “pre-humectación” antes de la adición de agua carbonatada se puede utilizar a fin de “cebar” las

reacciones en el cemento hidratado de tal forma que cuando entonces se añade el agua carbonatada se ve el efecto deseado en la aceleración de resistencia.

Ejemplo 35

[000638] En este ejemplo se estudiaron los efectos de carbonatación de baja dosis en la inversión del retardo de desarrollo temprano de resistencia en concretos que contienen un SCM, en este caso, ceniza volante.

[000639] El procedimiento fue como sigue:

Combinar 1350 g de arena y 267.5 g de agua en recipiente – mezclar 30s

Añadir 428 g de cemento y 107 g de ceniza volante (mezcla de 80/20) – mezclar 60s

Remover muestra para calorimetría y cocción

Dosificar CO_2 a 0.15 LPM durante 2 minutos

Remover muestra para colorimetría y cocción

Dosificar CO_2 a 0.15 LPM durante 2 minutos (dosis de CO_2 total de 4 minutos)

Remover muestra para calorimetría y cocción

Dosificar CO_2 a 0.15 LPM durante 2 minutos (dosis de CO_2 total de 6 minutos)

Remover muestra para calorimetría y cocción

[000640] Los cementos utilizados en los ensayos fueron: Argos, Cemex, Holcim, Titan Roanoake.

[000641] Las cenizas volantes utilizadas en los ensayos fueron: Venture Belevs creek. SEFA Wateree.

[000642] Los resultados se muestran en las Figuras 102-109. En cada Figura, la absorción de CO_2 para la mezcla particular se da para las tres dosis de dióxido de carbono diferentes, y calorimetría, reportada como energía total liberada en un intervalo de tiempo discreto (8, 16, y 23 horas después de la mezcla) se muestra, como un porcentaje de control no carbonatado. La Figura 102 muestra resultados para una mezcla

de cemento Argos + Venture FA. La Figura 103 muestra resultados para una mezcla de cemento Cemex + Venture FA. La Figura 104 muestra resultados para una mezcla de cemento Holcim + Venture FA. La Figura 105 muestra resultados para una mezcla de cemento Titan Roanoake + Venture FA. La Figura 106 muestra resultados para una mezcla de cemento Argos + SEFA FA. La Figura 107 muestra resultados para una mezcla de cemento Cemex + SEFA FA. La Figura 108 muestra resultados para una mezcla de cemento Holcim + SEFA FA. La Figura 109 muestra resultados para una mezcla de cemento Titan Roanoake + SEFA FA. En resumen, para ceniza Venture: En los cuatro cementos se observó un calor incrementado de liberación de hidratación en 8 y 16 horas. En general equivalente en 23 horas. Para ceniza SEFA: Se observó efecto similar que ceniza Venture en 3 cementos. Holcim estuvo detrás en las edades tempranas y fue equivalente en 23 horas.

[000643] La mayor liberación de energía detectada por calorimetría en las muestras carbonatadas indica incremento probable de resistencia temprana. Esto es importante en mezclas SCM, debido a que los productores en muchos mercados detienen el uso de ceniza volante o escoria durante clima más frío debido al desarrollo más lento de resistencia.

[000644] Los incrementos mayores de resistencia para los lotes carbonatados permite que los productores utilicen ceniza volante o escoria en clima más frío cuando el desarrollo más lento de resistencia asociado con SCM de otra forma provocaría que optaran en contra del uso de ceniza volante o escoria.

[000645] Este ejemplo demuestra el uso de carbonatación de baja dosis para acelerar desarrollo de resistencia en mezclas de concreto utilizando un SCM, por lo tanto compensando potencialmente de forma parcial o completa el retardo del desarrollo de resistencia visto en estas mezclas cuando no se

carbonatan.

Ejemplo 36

[000646] En este ejemplo se estudiaron de forma adicional los efectos de carbonatación de baja dosis en la inversión del retardo de desarrollo temprano de resistencia en concretos que contienen un SCM, en este caso, ceniza volante.

[000647] Se utilizó una ceniza volante, ceniza volante clase F Trenton. Se utilizaron dos cementos portland ordinarios, St. Mary's Bowmanville (STMB) y Roanoake. La fracción de mezcla fue 80% cemento, 20% ceniza volante.

[000648] El procedimiento fue como sigue:

Combinar 1350 g de arena y 267.5 g de agua en recipiente y mezclar durante 30s

Añadir 428 g de cemento y 107 g de ceniza volante y mezclar durante 30s

Para mortero carbonatado, mezclar 2, 4, o 6 minutos adicionales con una velocidad de flujo de CO_2 de 0.15 LPM

Para mortero de control mezclar 4 minutos adicionales

Colar muestras

[000649] El lote entonces se muestreó y se llevó a cabo calorimetría como se describe en la presente. Se utilizaron valores obtenidos de la calorimetría como un marcador alternativo al desarrollo de resistencia, también como se describe en la presente.

[000650] Los resultados de calorimetría para la mezcla Roanoake-Trenton se muestran en las Figuras 110 (potencia) y 111 (energía) y en la Tabla 38 (energía con respecto al control). Los resultados para cemento STMB se muestran en las Figuras 112 (potencia) y 113 (energía) y en la Tabla 39 (energía con respecto al control).

Tabla 38 Energía, por calorimetría, con respecto al control en intervalos de tiempo específicos para una mezcla 80/20 de

cemento Roanoake y ceniza volante Trenton

Tiempo después de mezcla(h)	Control	CO_2 2 min	CO_2 4 min	CO_2 6 min
1	-	-	-	-
2	100%	49%	73%	67%
3	100%	74%	95%	86%
4	100%	90%	113%	99%
5	100%	103%	126%	107%
6	100%	112%	130%	109%
7	100%	117%	130%	107%
8	100%	120%	127%	105%
9	100%	121%	125%	102%
10	100%	121%	122%	100%
11	100%	120%	120%	99%
12	100%	120%	117%	98%
13	100%	119%	114%	97%
14	100%	117%	112%	96%
15	100%	116%	110%	96%
16	100%	115%	108%	96%
17	100%	114%	107%	96%
18	100%	114%	106%	96%
19	100%	113%	105%	96%
20	100%	112%	104%	96%
21	100%	112%	104%	96%
22	100%	112%	103%	96%
23	100%	111%	103%	96%
24	100%	111%	102%	97%

Tabla 39 Energía, por calorimetría, con respecto a control en intervalos de tiempo específicos para una mezcla 80/20 de cemento St. Mary Bowmanville y ceniza volante Trenton

Tiempo después de mezcla(h)	Control	CO_2 2 min	CO_2 4 min	CO_2 6 min

1	–	–	–	–
2	100%	80%	68%	48%
3	100%	83%	81%	73%
4	100%	88%	88%	83%
5	100%	94%	93%	89%
6	100%	98%	95%	91%
7	100%	100%	95%	90%
8	100%	101%	94%	88%
9	100%	101%	92%	87%
10	100%	101%	92%	86%
11	100%	100%	91%	85%
12	100%	100%	91%	85%
13	100%	99%	90%	84%
14	100%	99%	90%	83%
15	100%	98%	89%	83%
16	100%	98%	89%	82%
17	100%	97%	89%	82%
18	100%	97%	89%	82%
19	100%	96%	89%	82%
20	100%	96%	89%	82%
21	100%	96%	89%	82%
22	100%	95%	89%	82%
23	100%	95%	89%	82%
24	100%	95%	89%	82%
25				

[000651] Hubo una fuerte aceleración observada en la mezcla Roanoake-Trenton. La dosis de 2 minutos (absorción de 0.06% bwc de CO_2) vio más energía liberada que el control en edades más allá de 5 horas, con al menos 20% más energía observada a través del intervalo de 8 a 12 horas. La energía total liberada en 24 horas fue 111% del control. La dosis de 4 minutos (absorción de 0.26% bwc de CO_2) vio más energía liberada que el control en todos los tiempos mayores que 4

horas con el beneficio que excede 10% de 6 horas a 15 horas. La máxima alcanzó 30% más en 6 a 7 horas. La energía total liberada en 24 horas fue 102% del control. La dosis de 6 minutos (absorción de 0.38% bwc de CO_2) liberó ligeramente más energía que el control a través de las edades de 5 a 9 horas (máximo de 9% por delante en 6 horas). La energía total liberada en 24 horas fue 97% del control.

[000652] En contraste, no hubo ninguna aceleración observada en la mezcla (St. Mary-Trenton. La dosis de 2 minutos (absorción de 0.14% bwc de CO_2) vio menos energía liberada que el control en todas las edades excepto el intervalo de 7 a 12 horas cuando fue equivalente. La energía total liberada en 24 horas fue 95% del control. La dosis de 4 minutos (absorción de 0.27% bwc de CO_2) vio menos energía liberada que el control en todas las edades. La máxima fue 95% en el intervalo de 6 a 7 horas. La energía total liberada en 24 horas fue 89% del control. La dosis de 6 minutos (absorción de 0.48% bwc de CO_2) vio menos energía liberada que el control en todas las edades. La máxima fue 91% en 6 horas. La energía total liberada en 24 horas fue 82% de control.

[000653] Este ejemplo es una demostración adicional de los efectos del tipo de mezcla en los resultados de carbonatación, con resultados notablemente diferentes que se obtienen dependiendo del cemento utilizado en la mezcla – prácticamente ningún efecto de carbonatación en la mezcla STMB-Trenton, y un efecto pronunciado en la mezcla Roanoke-Trenton. El efecto de carbonatación en una mezcla dada se estudia mejor en esa mezcla; esto puede ser especialmente importante en mezclas de cemento/SCM, en las cuales tanto el tipo específico de cemento como el tipo específico de SCM pueden contribuir especies reactivas que incluyen el transcurso y/o efecto de carbonatación. Este ejemplo también ilustra que, con la mezcla de cemento/SCM apropiada, la

carbonatación de la mezcla, por ejemplo, con bajas dosis de dióxido de carbono, puede acelerar el desarrollo de resistencia temprana, como se indica por calorimetría; en algunos casos la aceleración puede ser bastante notable, incluso a una dosis relativamente baja de dióxido de carbono. Finalmente, una mezcla dada puede demostrar diferentes cursos de tiempo de aceleración de desarrollo de resistencia; esto puede ser útil en ciertas condiciones de campo cuando se desea que se lleve a cabo una operación particular en un momento particular después de que se vacía la mezcla, por ejemplo, remoción de moldes, acabado, y similares, que requiere una cierta resistencia de concreto. Tiempos más tempranos del desarrollo acelerado de resistencia pueden desearse, por ejemplo, para acortar el tiempo que el concreto está en el molde, en tanto que pueden desearse momentos posteriores de desarrollo acelerado de resistencia, por ejemplo, para permitir que se presente de forma posterior el acabado de concreto.

Ejemplo 37

[000654] En este ejemplo se estudió el uso de bicarbonato como una fuente de carbonato en la carbonatación de mezclas de cemento.

[000655] Como se describe en otra parte en la presente, y sin que esté ligado por la teoría, las reacciones relevantes en carbonatación de mezclas de cemento u otras mezclas que contienen las especies reactivas indispensables son:

1. Disolución de gas en agua para formar dióxido de carbono disuelto:

CO_2 (*g*) -> CO_2 (*solución)*

2. Reacción de dióxido de carbono disuelto con agua para formar ácido carbónico:

$H_2O + CO_2$ *(solución)* -> H_2CO_3 *(ac)*

3. Reacción de ácido carbónico con hidróxido u otra

base para formar bicarbonato:

H_2CO_3 *(ac)* + OH^- *(ac)* -> HCO_3 *(ac)* + H_2O *(l)*

4. Reacción de bicarbonato con hidróxido u otra base para formar carbonato:

HCO_3^- *(ac)* + OH^- *(ac)* -> CO_3^{2-} *(ac)* + H_2O *(l)*

5. Reacción de carbonato con calcio (o ion alternativo) para formar carbonato sólido:

CO_3^{2-} *(ac)* + Ca^{2+} *(ac)* -> $CaCO_3$ *(s)*

[000656] Existen varios puntos donde las condiciones bajo las cuales las reacciones toman lugar pueden afectar diferentes pasos en la carbonatación. La disolución de dióxido de carbono en agua, 1, se afecta por temperatura, la presencia o ausencia de catalizadores, y otros factores. De forma similar, la formación de ácido carbónico, 2, se afecta por el pH del agua, etc., ya que es la reacción de ácido carbónico con hidróxido u otra base para formar bicarbonato, 3. La base para la reacción de 3 no necesita ser una base fuerte, ya que la pK_a para esta reacción es relativamente bajo, alrededor de 7 o algo así, por lo que la reacción podría presentarse incluso en el agua de mezcla en modalidades en las cuales el dióxido de carbono se añade al agua de mezcla. Los procesos de 1 y 2 se pueden evitar al utilizar agua cargada con dióxido de carbono (por ejemplo, agua de mezcla) en una prueba; dependiendo del pH del agua de mezcla, el proceso 3 también puede evitarse parcialmente o completamente. El uso de solución de bicarbonato no evita todos los procesos 1, 2, y 3, que permite que sólo se pruebe carbonatación de la mezcla de cemento.

[000657] En el presente ejemplo, se utiliza una solución de bicarbonato como una fuente de sustrato que se va a convertir a carbonato en pruebas de carbonatación de mezclas de cemento. Al remover las variables asociadas con disolución y conversión a ácido carbónico y bicarbonato, sólo se pueden

analizar los efectos de cemento y otros componentes reactivos de la mezcla, para obtener una imagen rápida y precisa del cemento y otros efectos por separado. Es posible determinar sí o no es efectiva la carbonatación con un cemento dado o mezcla de cemento, y determinar el nivel óptimo o deseado de carbonatación que se va a lograr, ya que todo o sustancialmente todo el bicarbonato se convierte a carbonato en las reacciones en la mezcla de la mezcla de cemento. También se pueden observar los efectos de diferentes dosis en la temporización del incremento de resistencia. De esta forma, se puede cambiar el enfoque en el campo para lograr la carbonatación deseada, dadas las condiciones de mezcla de agua, tiempo de mezcla, temporización de operaciones de lote, fuente de dióxido de carbono, control de retroalimentación potencial, y similares, para lograr carbonatación consistente y eficiente en el campo. Se pueden utilizar resultados de laboratorio en prueba de campo preliminar para confirmar la dosis de carbonatación y para demostrar la eficiencia de carbonatación, antes de depender de la administración de dióxido de carbono a la mezcla de cemento en el campo.

[000658] Donde una molécula de CO_2 forma una molécula de bicarbonato individual, se puede calcular una dosis de CO_2 efectiva como bicarbonato de sodio como sigue:

CO_2 (como bicarbonato) = (dosis de CO_2) * (Bicarbonato de sodio en masa molar/CO_2 en masa molar)

Por lo tanto: CO_2 (como bicarbonato) = (dosis de CO_2)*(84/44) = (dosis de CO_2)*1.91

Por ejemplo, una dosis de 0.10% bwc de CO_2 requeriría una dosis de 0.191% bwc de bicarbonato de sodio.

[000659] Se utilizaron dos cementos diferentes en las pruebas, Lafarge Brookfield (LAFB) y St. Mary Bowmanville (STMB), con el plan de lote mostrado en la Tabla 40.

Tabla 40 Plan de dosificación para prueba de bicarbonato

Lote	Masa de cemento (g)	Agua 1 (g)	Agua 2 (g)	Masa de $NaHCO_3$ (g)	Dosis de $NAHCO_3$ (% bwc)	Dosis de CO_2 equivalente (bwc)	Masa de agua total (g)
1	535	53.5	250	0	-	-	303.5
2	535	53.5	250	0.5	0.09%	0.05%	303.5
3	535	53.5	250	1.0	0.18%	0.10%	303.5
4	535	53.5	250	2.0	0.37%	0.20%	303.5

[000660] El procedimiento de mezcla fue como sigue:

Añadir bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$) en agua 2 y agitar completamente para disolver

Combinar agua y arena a 1 (10% de masa de cemento) en recipiente y mezclar 30s

Añadir cemento a recipiente y mezclar 30s

Añadir agua 2 durante período de tiempo designado (4 minutos)

Mezclar 30s adicionales

[000661] El lote entonces se muestreó y se llevó a cabo calorimetría como se describe en la presente. Se utilizaron valores obtenidos de calorimetría como un marcador alternativo a desarrollo de resistencia, también como se describe en la presente.

[000662] Los resultados para cemento STMB se muestran en las Figuras 114 (potencia) y 115 (energía) y en la Tabla 41 (energía con respecto a control). Los resultados para cemento LAFB se muestran en las Figuras 116 (potencia) y 117 (energía) y en la Tabla 42 (energía con respecto a control).

Tabla 41 Energía, por calorimetría, con respecto a control en intervalos de tiempo específicos para cemento STMB mezclado con bicarbonato de sodio

Tiempo	Control	0.09% de	0.18% de	0.37% de

después de mezcla(h)		bicarbonato	bicarbonato	bicarbonato
1	-	-	-	-
2	100%	95%	116%	100%
3	100%	99%	104%	102%
4	100%	101%	104%	102%
5	100%	103%	104%	101%
6	100%	103%	103%	98%
7	100%	103%	103%	97%
8	100%	103%	102%	95%
9	100%	103%	101%	94%
10	100%	103%	101%	94%
11	100%	103%	101%	94%
12	100%	103%	101%	94%
13	100%	103%	101%	94%
14	100%	103%	101%	94%
15	100%	103%	101%	94%

[000663]

Tabla 42 Energía, por calorimetría, con respecto al control en intervalos de tiempo específicos para cemento LAFB mezclado con bicarbonato de sodio

Tiempo después de mezcla (h)	Control	0.09% de bicarbonato	0.18% de bicarbonato	0.37% de bicarbonato
1	-	-	-	-
2	100%	92%	141%	163%
3	100%	95%	133%	155%
4	100%	103%	134%	151%
5	100%	107%	130%	140%
6	100%	109%	123%	129%
7	100%	108%	116%	120%
8	100%	106%	110%	112%

9	100%	105%	106%	107%
10	100%	104%	103%	104%
11	100%	103%	100%	101%
12	100%	102%	98%	98%
13	100%	100%	96%	96%
14	100%	99%	94%	95%
15	100%	99%	93%	94%
16	100%	98%	92%	93%
17	100%	98%	92%	92%
18	100%	97%	91%	91%
19	100%	97%	90%	91%
20	100%	96%	90%	90%

[000664] Los resultados confirman aquellos de ejemplos anteriores que muestran que los efectos de la carbonatación son altamente dependientes del tipo de cemento utilizado. En los lotes en los cuales se utilizó cemento STMB, el bicarbonato casi no tuvo ningún efecto en la calorimetría, a cualquier dosis, mientras que los lotes de LAFB, la carbonatación provocó a todas las dosis un incremento en hidratación temprana, similar al Ejemplo 33, con el efecto que es dependiente de la dosis. 2.0 g de bicarbonato fue la mejor de tres dosis con un incremento de 63% en energía en dos horas que disminuye de forma gradual a 12% en 8 horas.

[000665] Este ejemplo demuestra el uso de bicarbonato en prueba de carbonatación de diferentes mezclas de cemento, a fin de examinar efectos de carbonatación por separado, sin disolución y efectos de reacción temprana, y demuestra que diferentes cementos reaccionan de forma diferente a la carbonatación. Los resultados del uso de bicarbonato con cementos LAFB y STMB estuvieron de acuerdo con resultados de carbonatación que utiliza dióxido de carbono con estos cementos, que confirma que se puede utilizar bicarbonato como

una prueba de carbonatación.

Ejemplo 38

[000666] En este ejemplo, se utilizó agua de mezcla carbonatada como la fuente de dióxido de carbono para carbonatación de mezclas de cemento, y se probaron los efectos de retardo de la adición del agua de mezcla carbonatada, o duración de adición del agua de mezcla carbonatada.

[000667] En una primera prueba, se añadió agua de mezcla carbonatada al comienzo de la mezcla o después de un retardo corto. Esto permite que la prueba tenga que ver por sí misma con la temporización del CO_2 en el proceso de mezcla en lugar de con una reacción de gas a solución, es decir, para evitar reacciones 1 y 2 mostradas en el Ejemplo 37. El agua carbonatada fue Perrier.

[000668] El procedimiento fue como sigue:

Combinar arena, agua de grifo 1 (53.5 g), agua carbonatada 1 (ya sea sin carbonatación o carbonatada) y cemento en el frasco-mezclar 60s

Añadir tanto agua de grifo 2 como agua carbonatada 2 (carbonatada) al recipiente durante 10s, mezclar 60s

Mezclar mortero durante 1 minuto adicional

Colar para resistencia CO_2, y calorimetría

[000669] El plan de lote fue como se muestra en la Tabla 43

Tabla 43 Lotes de trabajo de temporización carbonatado

Lote	Cemento (g)	Agua de grifo 1 (g)	Agua carbonatada 1 (g)	Agua de grifo 2 (g)	Agua carbonatada 2 (g)	Pre-húmedo total
1	535	267.5	0	0	0	267.5
2	535	53.5	0	214	0	53.5
3	535	53.5	214	0	0	267.5

4	535	53.5	0	0	214	53.5

[000670] Entonces se muestreó el lote y se llevó a cabo calorimetría como se describe en la presente. Se utilizaron valores obtenidos de calorimetría, también como se describe en la presente.

[000671] Los resultados para cemento STMB se muestran en las Figuras 118 (potencia) y 119 (energía) y en la Tabla 44 (energía con respecto a control). Los resultados para cemento LAFB se muestran en las Figuras 120 (potencia) y 121 (energía) y en la Tabla 45 (energía con respecto a control).

Tabla 44 Energía, por calorimetría, con respecto a control en intervalos de tiempo específicos para cemento STMB sometido a diferentes composiciones de agua de mezcla y temporizaciones

Tiempo después de mezcla(h)	Control	Control – agua dividida	CO_2 por adelantado	CO_2- agua dividida
2	100%	94%	0%	134%
3	100%	103%	37%	122%
4	100%	103%	46%	124%
5	100%	103%	54%	125%
6	100%	103%	62%	123%
7	100%	103%	70%	119%
8	100%	103%	76%	116%
9	100%	103%	81%	112%
10	100%	103%	85%	110%
11	100%	103%	88%	108%
12	100%	103%	90%	106%
13	100%	103%	91%	104%
14	100%	103%	92%	103%
15	100%	103%	93%	101%

16	100%	103%	93%	100%
17	100%	103%	94%	99%
18	100%	103%	94%	98%
19	100%	103%	94%	97%

Tabla 45 Energía, por calorimetría, con respecto a control en intervalos de tiempo específicos para cemento LAFB sometido a diferentes temporizaciones y composiciones de agua de mezcla.

Tiempo después de mezcla(h)	Control	Control – agua dividida	CO_2 por adelantado	CO_2 - agua dividida
2	100%	227%	0%	41%
3	100%	137%	51%	94%
4	100%	122%	53%	107%
5	100%	117%	65%	115%
6	100%	114%	75%	115%
7	100%	112%	82%	111%
8	100%	110%	88%	107%
9	100%	109%	92%	104%
10	100%	108%	95%	102%
11	100%	107%	98%	100%
12	100%	107%	101%	98%
13	100%	106%	103%	97%
14	100%	106%	104%	96%
15	100%	106%	105%	95%
16	100%	106%	106%	95%
17	100%	106%	107%	95%
18	100%	106%	107%	95%
19	100%	106%	108%	95%
20	100%	106%	108%	95%
21	100%	106%	108%	95%
22	100%	106%	108%	94%

23	100%	106%	108%	94%

[000672] Para el cemento STMB, la adición de agua carbonatada como parte del agua de mezcla mostró un retardo de hasta 10 horas (menor que 85% de la energía liberada por el control) antes de alcanzar 93% de la energía liberada por el control en edades mayores que 15 horas. En contraste, la adición retardada de la misma cantidad de agua de mezcla mostró que la liberación de energía estuvo más de 15% por delante del control a través de las primeras 8 horas de hidratación antes de ser equivalente al control después de 15 horas. No fue apreciable ninguna diferencia en el sistema no carbonatado si el agua se añadía toda a la vez o en una división 80/20.

[000673] Para el cemento LAFB la adición de agua carbonatada como parte del agua de mezcla mostró un retardo a través de las primeras 7 horas (en donde menor que el 85% de la energía liberada por el control) antes de alcanzar un incremento de 8% en la energía liberada versus el control en edades mayores que 19 horas. Para la adición retardada de la misma cantidad de agua carbonatada la liberación de energía de hidratación estuvo más de 15% por delante del control por la quinta y sexta hora de hidratación antes de estar ligeramente por detrás del control después de 15 horas. En este caso, la adición dividida 80/20 de agua de mezcla no carbonatado mostró una aceleración marcada en puntos de tiempo tempranos, en comparación con la adición de todo a la vez.

[000674] Estos resultados demuestran de nuevo que los resultados varían dependiendo del cemento utilizado. Tanto el STMB como el LAFB mostraron un retardo marcado de hidratación, como se muestra por calorimetría, cuando se añadió el agua de mezcla carbonatada sin un retardo; sin embargo, el cemento LAFB tuvo hidratación recuperada e

incluso acelerada en 12 horas, mientras que el STMB no se recuperó en las 23 horas probadas. En tanto el STMB como el LAFB, el retardo de la adición del agua de mezcla carbonatada dio por resultado aceleración de hidratación, pero en diferentes tiempos y a diferentes grados. Para STMB, hubo aceleración marcada en el punto de tiempo de primera hora, continuando a 15 horas. En contraste, la aceleración de hidratación en el sistema LAFB no fue evidente hasta 4 horas y finalizó en 11 horas, y fue moderado en comparación con aquella del STMB.

[000675] En una segunda prueba, se mantuvo constante el retardo hasta la adición de agua carbonatada y la cantidad de agua carbonatada, y se varió la duración total de adición del agua. Se utilizó cemento LAFB. El agua carbonatada fue Perrier. El procedimiento de mezcla fue como sigue:

Combinar arena y agua 1 en recipiente – mezclar 30s

Añadir cemento al recipiente – mezclar 30s

Añadir tanto agua 2 como agua carbonatada durante período de tiempo designado (2-5 minutos)

Mezclar mortero durante total de 2 minutos

Se señala que para los lotes 4 y 5 el tiempo de mezcla total fue 5 minutos.

[000676] El plan de lote fue como se muestra en la Tabla 46.

Tabla 46 Plan de lote para diferentes duraciones para adición de agua carbonatada

Lote	Masa de cemento (g)	Agua 1 (g)	Dosis de agua carbonatada (g)	Masa de agua total (g)	Tiempo de adición
1	535	53.5	250	303.5	30 segundos
2	535	53.5	250	303.5	60 segundos
3	535	53.5	250	303.5	120 segundos

4	535	53.5	250	303.5	180 segundos
5	535	53.5	250	303.5	300 segundos

[000677] Los resultados de calorimetría se muestran en la Figura 122 (potencia) y 123 (energía) y en la Tabla 47 (energía con respecto a control)

Tabla 47 Energía, por calorimetría, con respecto a control en intervalos de tiempo específicos para cemento LAFB con diferentes duraciones de tiempo para adición de agua carbonatada

Tiempo después de mezcla(h)	0.5 min	1 min	2 min	3 min	5 min
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	100%	109%	122%	186%	228%
4	100%	117%	141%	192%	229%
5	100%	116%	137%	166%	191%
6	100%	111%	125%	140%	156%
7	100%	107%	117%	124%	135%
8	100%	104%	112%	114%	122%
9	100%	102%	109%	108%	114%
10	100%	101%	107%	104%	109%
11	100%	101%	106%	102%	106%
12	100%	100%	105%	100%	104%
13	100%	100%	104%	99%	102%
14	100%	99%	104%	98%	101%
15	100%	99%	103%	97%	100%
16	100%	99%	103%	97%	100%
17	100%	99%	102%	97%	99%

[000678] En comparación con la adición más rápida de agua carbonatada, entre más lenta sea la adición mayor será el beneficio. Se observaron beneficios mayormente en períodos de

hidratación de hasta 9 horas después de la mezcla.

[000679] Este ejemplo demuestra que la variación de la duración de adición de agua de mezcla carbonatada a una mezcla de cemento puede tener efectos marcados en la hidratación temprana.

Ejemplo 39

[000680] En este ejemplo, se obtuvo agua de mezcla carbonatada de agua de lavado artificial y se utilizó como la fuente de dióxido de carbono para la carbonatación de mezclas de cemento.

[000681] En producción de concreto, se produce agua de proceso en diferentes etapas de la producción y proceso de empaquetamiento, tal como limpieza de camión y otros procesos, donde el agua de proceso tiene un alto pH que puede ser necesario reducir antes de que se pueda descargar el agua. Los métodos de tratamiento actuales incluyen el uso de HCl, pero el proceso es difícil de controlar y tiene inconvenientes de seguridad implicados con el manejo de un ácido concentrado. Un método alternativo utiliza adición de dióxido de carbono al agua de proceso. El dióxido de carbono forma ácido carbónico, un ácido débil, que se convierte a bicarbonato y por último a carbonato (por ejemplo, carbonato de calcio). Conforme se disminuye el pH por estas reacciones, eventualmente alcanza 7 u 8, y se disuelve el carbonato de calcio precipitado, creando bicarbonato de calcio. Debido a las pKas de las diferentes reacciones, se amortigua el sistema y es más fácil de lograr el pH deseado para descarga. Por lo tanto, ciertas modalidades proporcionan tratamiento de agua de proceso de un proceso de fabricación que produce agua de proceso de alto pH, tal como fabricación de concreto, con dióxido de carbono, tal como dióxido de carbono producido en fabricación de cal y/o cemento para reducir el pH de agua de proceso. Este ejemplo prueba si el agua de lavado carbonatada

entonces se puede utilizar como agua de mezcla en el proceso de procesamiento por lotes de concreto.

[000682] Se utilizó el siguiente procedimiento:

Se preparó un "agua de lavado" sintética al mezclar una solución de 2% de cemento en peso con 0.20% bwc de gluconato de sodio, en agua. Entonces se añadió el gluconato ya que la adición de un retardante es una parte convencional del proceso de lavado para impedir que el concreto se fije en el camión de mezcla final antes del lavado.

Se agitó la mezcla periódicamente y se permitió asentarse durante 24 horas.

Combinar arena (1350 g) y agua 1 – mezclar 30s

Añadir cemento (STMB, 535 g) – mezclar 30s

Añadir tanto agua 2 como agua de lavado a recipiente – mezclar 2 minutos

Colar muestras

[000683] La prueba comparó agua de lavado filtrada vs no filtrada, tanto en variaciones carbonatadas como no carbonatadas. El agua de lavado se carbonató al tratarla en un dispositivo doméstico de preparación de refresco de acuerdo con las instrucciones del fabricante para preparar agua carbonatada. El agua de lavado se filtró a través de papel filtro para remover sólidos suspendidos. El procesamiento por lotes se muestra en la Tabla 48. El agua de lavado carbonatada representó más del 60% del agua total utilizada en las mezclas de cemento.

Tabla 48 Lotes de trabajo de agua de lavado carbonatada

Lote h	Cemento (g)	Agua 1 (g)	Agua de lavado (g)	Agua 2 (g)	Agua total (g)	Agua de lavado
1	535	53.5	171.2	42.8	267.5	Filtrada, no

						carbonatada
2	535	53.5	171.2	42.8	267.5	Filtrada, carbonatada
5	535	53.5	171.2	42.8	267.5	No filtrada, no carbonatada
6	535	53.5	171.2	42.8	267.5	No filtrada, carbonatada

[000684] Los resultados de calorimetría se muestran en las Figuras 123 (potencia) y 124 (energía) y en las Tablas 49 (no filtrada) y 50 (filtrada).

Tabla 49 Energía, por calorimetría, con respecto a control no carbonatado en intervalos de tiempo específicos para cemento STMB con agua de lavado simulada, filtrada utilizada como 80% del agua de mezcla

Tiempo después de mezcla (h)	Filtrada, no carbonatada	Filtrada, carbonatada
2	100%	194%
3	100%	110%
4	100%	111%
5	100%	109%
6	100%	109%
7	100%	108%
8	100%	107%
9	100%	105%
10	100%	103%
11	100%	102%

12	100%	101%
13	100%	100%
14	100%	99%
15	100%	98%
16	100%	96%
17	100%	96%
18	100%	95%

Tabla 50 Energía, por calorimetría, con respecto al control no carbonatado en intervalos de tiempo específicos para cemento STMB con agua de lavado simulada, no filtrada utilizada como 80% del agua de mezcla

Tiempo después de mezcla(h)	No filtrada, no carbonatada	No filtrada, carbonatada
2	100%	28%
3	100%	62%
4	100%	77%
5	100%	88%
6	100%	95%
7	100%	99%
8	100%	101%
9	100%	102%
10	100%	103%
11	100%	103%
12	100%	104%
13	100%	103%
14	100%	103%
15	100%	103%
16	100%	102%
17	100%	102%
18	100%	102%

[000685] Cuando se filtró el agua de lavado el tratamiento de carbonatación dio por resultado alguna parte de aceleración de hidratación temprana (94% más energía liberada a través de 2 horas, 10% a través de 3 horas, 11% a través de 4 horas) antes de tender hacia abajo para ser 8% menor en 22 horas. Cuando el agua de lavado no se filtró el tratamiento de carbonatación dio por resultado retardo temprano de hidratación (no hasta 6 horas la energía estuvo dentro del 10% del control. Antes de que la liberación de energía se volviera comparable con el control.

[000686] Este ejemplo ilustra que el agua de lavado carbonatada se puede utilizar como parte de o toda el agua de mezcla en una mezcla de cemento con aceleración de hidratación en la mezcla posterior en comparación con el control no carbonatado. El uso de agua de lavado carbonatada puede permitir el tratamiento simultáneo de agua de lavado, su eliminación en una mezcla de cemento, y un efecto benéfico o al menos neutro en la mezcla posterior. Si el dióxido de carbono proviene del propio proceso de fabricación de cemento, también representa una vía para disminuir la huella de carbono del proceso de cemento general.

Ejemplo 40

[000687] En este ejemplo, se probó el efecto de carbonatación en hidratación temprana para dos diferentes condiciones de baja temperatura.

[000688] El concreto industrialmente producido puede variar en temperatura, tanto en la instalación de procesamiento por lotes como en el sitio de trabajo. Convencionalmente, se requiere que una mezcla de concreto esté entre 10-30°C al momento de administración, aunque potencialmente puede estar más caliente o frío al momento de procesamiento por lotes.

[000689] En esta prueba, se carbonató una serie de muestras de mortero a bajas temperaturas para observar si el efecto

del CO_2 en el cemento era sensible a la temperatura de mezcla. Se utilizaron dos intervalos de temperatura, 5 a 10°C y 10 a 15°C. Se llevó a cabo calorimetría isotérmica en el mismo intervalo de temperatura de la mezcla.

[000690] El procedimiento fue como sigue:

Combinar 1350g de arena y 267.5g de agua en recipiente y mezclar durante 30s

Añadir 535g de cemento y mezclar durante 30s

Para mortero carbonatado, mezclar 2, 4 o 6 minutos adicionales con una velocidad de flujo de CO_2 de 0.15 LPM

Para mortero de control mezclar 4 minutos adicionales

Colar muestras

[000691] Se utilizaron dos cementos portland ordinarios: St. Mary's Bowmanville (STMB) o Lafarge Bookfield (LAFB).

[000692] Para morteros de cemento LAFB, las Figuras 125 y 126 muestran curvas de potencia y energía, respectivamente de 5 a 10°C, y las Figuras 127 y 128 muestran curvas de potencia y energía, respectivamente de 10 a 15°C, en tanto que la Tabla 51 muestra resumen de energía comparada con sistema de control de 5 a 10°C y la Tabla 52 muestra resumen de energía comparada con sistema de control de 10 a 15°C.

Tabla 51 Energía, por calorimetría, con respecto a control en intervalos de tiempo específicos para cemento LAFB hidratado a una temperatura entre 5 y 10°C

Tiempo después de mezcla(h)	Control 5°C	CO2 2 min	CO2 4 min	CO2 6 min
1	-	-	-	-
2	100%	80%	45%	22%
3	100%	73%	46%	38%
4	100%	73%	40%	35%

5	100%	75%	45%	41%
6	100%	78%	57%	53%
7	100%	80%	69%	64%
8	100%	83%	79%	74%
9	100%	85%	86%	81%
10	100%	88%	92%	86%
11	100%	89%	95%	90%
12	100%	90%	99%	93%
13	100%	91%	102%	96%
14	100%	92%	104%	98%
15	100%	93%	106%	100%
16	100%	93%	107%	101%
17	100%	94%	109%	102%
18	100%	94%	110%	103%
19	100%	94%	110%	103%
20	100%	94%	111%	104%
21	100%	95%	111%	104%
22	100%	95%	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-

Tabla 51 Energía, por calorimetría, con respecto al control en intervalos de tiempo específicos para cemento LAFB hidratado a una temperatura entre 10 y 15°C

Tiempo después de mezcla(h)	Control 10°C	CO2 2 min	CO2 4 min	CO2 6 min
1	100	106%	160%	0%
2	100%	84%	108%	36%
3	100%	82%	95%	73%
4	100%	89%	102%	97%
5	100%	95%	107%	107%

6	100%	97%	107%	107%
7	100%	99%	105%	104%
8	100%	100%	102%	104%
9	100%	100%	101%	98%
10	100%	100%	99%	95%
11	100%	100%	97%	93%
12	100%	100%	95%	91%
13	100%	100%	94%	89%
14	100%	99%	92%	88%
15	100%	99%	92%	87%
16	100%	99%	91%	86%
17	100%	99%	90%	86%
18	100%	98%	90%	85%
19	100%	98%	89%	85%
20	100%	98%	89%	84%
21	100%	98%	88%	84%
22	100%	98%	88%	84%
23	100%	97%	88%	83%
24	100%	97%	87%	-

[000693] Para morteros de cemento STMB, las Figuras 129 y 130 muestran curvas de potencia y energía, respectivamente de 5 a 10°C, y las Figuras 131 y 132 muestran curvas de potencia y energía, respectivamente de 10 a 15°C, en tanto que la Tabla 53 muestra resumen de energía comparada con sistema de control de 5 a 10°C y la Tabla 54 muestra resumen de energía comparada con sistema de control de 10 a 15°C.

Tabla 53 Energía, por calorimetría, con respecto a control en intervalos de tiempo específicos para cemento STMB hidratado a una temperatura entre 5 y 10°C

Tiempo después de	Control 5°C	CO2 2 min	CO2 4 min	CO2 6 min

mezcla(h)				
1	-	-	-	-
2	100%	62%	67%	76%
3	100%	56%	64%	68%
4	100%	57%	67%	74%
5	100%	60%	72%	83%
6	100%	64%	78%	91%
7	100%	68%	83%	97%
8	100%	72%	88%	100%
9	100%	75%	91%	102%
10	100%	79%	93%	103%
11	100%	82%	95%	103%
12	100%	84%	96%	103%
13	100%	86%	97%	102%
14	100%	88%	98%	102%
15	100%	89%	99%	102%
16	100%	90%	100%	102%
17	100%	92%	101%	102%
18	100%	93%	102%	103%
19	100%	94%	103%	103%
20	100%	95%	104%	103%
21	100%	96%	105%	103%
22	100%	96%	105%	103%
23	100%	97%	-	-
24	-	-	-	-

Tabla 54 Energía, por calorimetría, con respecto al control en intervalos de tiempo específicos para cemento STMB hidratado a una temperatura entre 10 y 15°C

Tiempo después de mezcla(h)	Control 10°C	CO2 2 min	CO2 4 min	CO2 6 min

1	–	–	–	–
2	100%	26%	47%	61%
3	100%	54%	80%	87%
4	100%	67%	100%	103%
5	100%	75%	109%	110%
6	100%	80%	112%	111%
7	100%	83%	112%	109%
8	100%	85%	109%	106%
9	100%	88%	107%	104%
10	100%	90%	106%	103%
11	100%	92%	105%	102%
12	100%	93%	104%	101%
13	100%	94%	103%	100%
14	100%	94%	102%	99%
15	100%	94%	100%	98%
16	100%	95%	99%	98%
17	100%	95%	99%	98%
18	100%	95%	98%	97%
19	100%	96%	98%	97%
20	100%	96%	97%	97%
21	100%	96%	97%	97%
22	100%	96%	96%	97%
23	100%	96%	96%	97%
24	100%	97%	96%	97%
25				

[000694] Para el mortero LAFB, en ambas temperaturas, la dosis media (4 min) produjo la mayor mejora de hidratación, y a ambas temperaturas el efecto inició de forma más temprana que el efecto para la dosis más alta (6 min); en la temperatura de 10 a 15, ya había un incremento de 60% en hidratación en el punto de una hora para la dosis de 4 minutos de dióxido de carbono. Para el mortero STMB, las dosis media y alta produjeron incrementos moderados

aproximadamente equivalentes en hidratación a ambas temperaturas, pero el inicio del efecto fue notablemente diferente para las dos dosis a la menor temperatura, comenzando en aproximadamente 9 horas para la dosis de 6 minutos y en 17 horas para la dosis de 4 minutos.

[000695] Este ejemplo demuestra que la carbonatación de una mezcla de cemento puede tener un efecto en desarrollo temprano de resistencia en concretos que se van a procesar por lotes y utilizar a bajas temperaturas, y que la dosis óptima puede ser dependiente de la temperatura y del tipo de cemento. Además, se puede manipular la temporización del comienzo del desarrollo de resistencia incrementado al manipular la dosis en algunas circunstancias.

Ejemplo 41

[000696] Este ejemplo demuestra la deformación ***in situ*** de nano cristales de carbonato de calcio bajo condiciones específicas de carbonatación en el cemento.

Cemento de pozo de petróleo

[000697] Se llevaron a cabo experimentos a escala de laboratorio en un sistema modelo a fin de entender mejor los impactos del dióxido de carbono. La prueba utilizó cemento de pozo de petróleo debido a su bajo contenido de calcita inicial (por debajo de los límites de detección en XRD). Por lo tanto se pueden distinguir fácilmente pequeñas cantidades de desarrollo de producto de reacción de carbonato.

[000698] Se generaron muestras al mezclar 250 g de agua con 500 g de cemento de pozo de petróleo no tratado en una mezcladora durante 30 segundos. La mezcladora se inundó con suministro continuo de gas de 100% CO_2 durante un minuto durante la mezcla. Las muestras se congelaron instantáneamente con nitrógeno líquido después del período de mezcla y entonces se liofilizaron para detener las reacciones de carbonatación e hidratación. Se examinó la hidratación

temprana al muestrear el lote en cinco tiempos distintos (t = inmediatamente después del final de la mezcla, 5 minutos, 4 horas, 10 horas, y 24 horas después del final de la mezcla). También se preparó un conjunto paralelo de muestras para un sistema no carbonatado (control). Se empleó difracción cuantitativa de rayos X (QXRD) para caracterizar los constituyentes de las muestras preparadas. Se utilizó carbono inorgánico total para cuantificar el dióxido de carbono.

Cemento GU

[000699] Se llevó a cabo una investigación para caracterizar los productos de reacción de carbonato a través de carbonatación de un sistema de cemento simple. Se logró un alto grado de carbonatación para permitir observación directa de los productos de reacción cristalinos.

[000700] El experimento mezcló 450 g de cemento GU y 50 g de agua desionizada destilada en bolsa de plástico resellable, hermética. Se agitaron a mano los materiales a través de la bolsa hasta que se mezclaron homogéneamente y se humedeció el cemento (30s). Se infló la bolsa con gas de 100% CO_2 y se selló. Se permitió que el sistema reaccionara hasta que todo el dióxido de carbono había reaccionado (durante varios minutos) y se había desinflado la bolsa. Ese proceso se repitió un total de diez veces durante el transcurso de 1 hora. Se preparó una bolsa separada de forma idéntica, pero no se añadió ningún gas de dióxido de carbono a la bolsa de plástico. Se cuantificó el contenido de carbonato por QXRD y se formó una imagen de la microestructura utilizando SEM.

Resultados de QXRD de cemento de pozo de petróleo

[000701] Los resultados de QXRD de las muestras de cemento de pozo de petróleo se resumen en la Tabla 55 (muestras hidratadas) y Tabla 56 (serie carbonatada). Los resultados se presentan como porcentaje de fracción de masa por masa inicial normalizada. El análisis estadístico de los datos

recolectados a través de QXRD sugirió que el error porcentual se controla por error analítico. Una ecuación que representa esta distribución se utilizó para calcular todos los errores con base en la abundancia absoluta. Los desarrollos de C3S, calcita, ettringita, hidróxido de calcio, y cemento amorfo se rastrearon. La identificación Rietveld de contenido amorfo se interpretó, en parte, para representar gel C-S-H. En tanto que el cemento amorfo de las muestras anhidras no se adheriría a esta interpretación, el desarrollo de C-S-H estaría asociado generalmente con el incremento neto en contenido amorfo conforme procede la hidratación.

Tabla 55 Resumen de abundancia de fase (% en peso) a través de QXRD para serie de cemento de pozo de petróleo hidratado

Fase	Anhidro	0 min	5 min	4 horas	10 horas	24 horas
C3S	54.9 ±1.2	54.5 ±1.2	53.4 ±1.2	49.9 ±1.2	46.0 ±1.2	26.4 ±1.0
Calcita	n/d	n/d	n/d	n/d	0.9 ±0.4	1.0 ±0.4
Amorfa	8.6 ±0.7	8.39 ±0.7	7.6 ±0.7	13.5 ±0.8	20.0 ±0.9	34.1 ±1.1
Ettringita	0.6 ±0.3	0.7 ±0.4	1.1 ±0.4	1.4 ±0.4	1.8 ±0.5	4.4 ±0.6
Yeso	4.0 ±0.6	3.3 ±0.6	4.5 ±0.6	3.6 ±0.6	3.3 ±0.6	0.9 ±0.4
$Ca(OH)_2$	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	6.0 ±0.7

Tabla 56 Resumen de abundancia de fase (% en peso) a través de QXRD para serie de cemento de pozo de petróleo carbonatado

Fase	Anhidro	0 min	5 min	4 horas	10	24

					horas	horas
C3S	54.9 ±1.2	53.7 ±1.2	52.3 ±1.2	51.6 ±1.2	42.3 ±1.1	27.9 ±1.0
Calcita	n/d	0.8 ±0.4	0.5 ±0.3	1.0 ±0.4	1.5 ±0.4	2.8 ±0.5
Amorfa	8.6 ±0.7	10.4 ±0.8	11.2 ±0.8	13.0 ±0.8	25.4 ±1.0	38.3 ±1.1
Ettringita	0.6 ±0.3	0.6 ±0.3	0.5 ±0.3	0.7 ±0.4	1.1 ±0.4	2.5 ±0.5
Yeso	4.0 ±0.6	4.1 ±0.6	4.5 ±0.6	4.3 ±0.6	3.0 ±0.6	n/d
$Ca(OH)_2$	n/d	n/d	n/d	n/d	1.0 ±0.4	5.2 ±0.6

[000702] El progreso de disolución de C3S y la reacción se monitoriza por el cambio en su abundancia relativa (disminución) con el tiempo. El caso carbonatado se muestra que es paralelo al caso hidratado en donde los dos valores son equivalentes dentro del intervalo del error en la medición inicial, 5 minutos y 4 horas. Una mayor cantidad de C3S ha reaccionado en la muestra carbonatada (potencialmente 8% más) en 10 horas pero en 24 horas el C3S en las dos condiciones de nuevo es funcionalmente equivalente. El dióxido de carbono se muestra que tiene solamente un pequeño efecto en la cinética de reacción o disolución de C3S total dado que esa reacción total de C3S fue ampliamente la misma. La reacción incrementada de C3S en el cemento de pozo de petróleo carbonatado en 10 horas como se observa por la QXRD concordó con la calorimetría de mezcla de concreto final de campo (ejemplos anteriores) en donde se liberó mayor energía en el intervalo de 7 a 11 horas. Esta etapa de hidratación está asociada con el final del período de aceleración cuando comienza a disminuir la hidratación de silicato inicial. Es

posible que los productos de reacción de carbonato proporcionen un papel de siembra para aumentar la hidratación o de otra forma afecte en la cinética de la reacción de hidratación.

[000703] Las concentraciones iniciales de calcita en el cemento anhidro estuvieron por debajo de los límites de detección. La calcita aparece en el cemento hidratado después de 60 minutos a un nivel de 0.90 ± 0.40%. Permaneció sin cambios a lo largo del final del análisis. El error relativo grande (44%) es debido a la incertidumbre a estas bajas concentraciones de calcita. En la muestra carbonatada se observó un incremento en la concentración de calcita inmediatamente después de la inyección de gas de dióxido de carbono 0.80 ± 0.37% en peso de calcita. Este nivel de calcita permanece relativamente constante en el sistema a través de las primeras 4 horas. En la muestra en 10 horas la concentración de calcita incrementa a 1.52 ± 0.45% en peso antes de alcanzar por último su concentración máxima observada de 2.83 ± 0.55% en 24 horas. La cantidad de calcita en el sistema aparece que incrementa pero se reconoce que no se añade ninguna parte adicional de dióxido de carbono al sistema después de la mezcla inicial. El incremento observado con el tiempo es probablemente atribuible a los productos de reacción de calcita que son de forma inicial pobremente cristalinos o demasiado pequeños (invisibles a QXRD) antes de desarrollar tamaño o cristalinidad incrementados en donde se pueden detectar a través de QXRD.

[000704] El contenido amorfo de la muestra carbonatada es 24% mayor que aquel del control hidratado inmediatamente después de la carbonatación. En 5 minutos es 47% mayor. Cae 4% detrás en 4 horas antes de la aceleración a 27% por delante en 10 horas y 12% por delante en 24 horas. El pequeño retraso en 4 horas se reflejó por el contenido de C3S cuyo

consumo se muestra que fue ligeramente menor para la pasta carbonatada en 4 horas. El contenido amorfo, como su contenido de C-S-H paralelo y tomado como un indicador para progreso de hidratación, refleja algunas de las observaciones de campo. La calorimetría de campo proporcionó evidencia de un punto central en donde la hidratación estuvo ligeramente detrás en 4 horas y notablemente por delante en 10 horas antes de mostrar un beneficio de resistencia en 24 horas.

[000705] El contenido de ettringita de la pasta carbonatada se encontró que fue menor en la pasta hidratada. Si se considera la cuantificación como un incremento neto con respecto a la cantidad traza encontrada en el estado anhidro entonces la pasta carbonatada contuvo 90% menos ettringita en 4 horas, 56% en 10 y 49% en 24 horas. La implicación es que la ettringita fue más lenta en formarse en la muestra carbonatada.

[000706] El contenido de yeso de ambas muestras no cambia de forma concluyente a través de las muestras de cuatro horas. La disminución, a través del consumo durante la hidratación, fue mayor en la muestra carbonatada que en la muestra hidratada. Pareció que todo el yeso se había consumido en la muestra carbonatada en 24 horas pero menos del 80% había reaccionado en la muestra hidratada.

[000707] La primera detección de hidróxido de calcio fue en la muestra de 10 horas, pero sólo en la pasta carbonatada. En 24 horas la muestra carbonatada tenía 88% de la portlandita que se detectó en la pasta de control.

[000708] La pequeña dosis de dióxido de carbono crea nano calcita pero no impide que procedan las rutas de reacción de hidratación, convencionales. Los silicatos de calcio continúan hidratándose, en tanto que continúan formándose la portlandita y la ettringita.

[000709] Análisis de Carbono Inorgánico Total de Cemento de

Pozo de Petróleo

[000710] Se llevaron a cabo mediciones de carbono inorgánico total (TIC) para los tres estados (anhidro, hidratado y carbonatado). El análisis representaría carbono en nano partículas amorfas de calcita que serían insuficientemente cristalinas y/o demasiado pequeñas para observarse a través de QXRD.

[000711] El TIC para el cemento anhidro fue 0.098%. Tras el tratamiento de carbonatación el carbono había incrementado a 0.264%. En la edad equivalente el contenido de carbono de la muestra hidratada fue 0.097%, y permaneció sin cambios de la muestra anhidra. Los datos TIC prueban que el dióxido de carbono había entrada al sistema incluso si la QXRD sólo detectaba alguna parte del valor final. Se observó un incremento neto de 0.166%. Esto representa 0.377% de CO_2 en peso de cemento.

[000712] SEM de cemento GU

[000713] La producción de una muestra de pasta altamente carbonatada tuvo éxito en el incremento del contenido de calcita (normalizado con respecto al estado anhidro) de 6.7% en el anhidro a 37.7% en el carbonatado. La conversión de la calcita en $\%CaCO_3$ a $\% CO_2$, muestra que la muestra carbonatada tenía un contenido de CO_2 neto de 13.6% en peso del cemento anhidro. Este nivel de carbonatación asegura que los productos de reacción se encuentran en abundancia considerablemente mayor de lo que se logra en el caso industrial. Sin embargo, sirve como un sistema efectivo para análisis dado que los productos de reacción son fáciles de observar en un sistema de pasta puro que tiene un alto grado de reacción.

[000714] La microscopía electrónica de la muestra carbonatada (mostrada en la micrografía de la Figura 137) reveló que estuvieron presentes varios nanocristales

romboédricos en el sistema. La dimensión principal de las partículas excedió generalmente 10 nm y predominantemente fue menor que 150 nm. Los tamaños de las partículas fueron demasiado pequeños para permitir una evaluación química directa, efectiva a través de EDS. Sin embargo, la geometría de partícula es consistente con calcita y la QXRD identificó la presencia de grandes cantidades de calcita por lo que se hace la conclusión que el proceso de carbonatación ha logrado formación ***in situ*** de calcita nano cristalina. El método de producción (carbonatación extensiva y agresiva) dio por resultado productos de reacción que es probable que estén en grandes tamaños y en grandes cantidades de lo que se habría encontrado en las muestras industriales.

[000715] Este ejemplo reveló que las rutas de hidratación fueron ampliamente las mismas con y sin carbonatación. Las fases de hidratación convencionales se formaron después de que se presentó la reacción de carbonatación. El impacto de la carbonatación pudo haber sido para incrementar la formación de C-S-H en el período de tiempo de 10 a 24 horas. Se formó carbonato de calcio homogéneamente distribuido, nano cristalino ***in situ*** en el proceso.

Ejemplo 42

[000716] Este ejemplo detalla un sistema de inyección de CO_2 líquido, por ejemplo, para adaptar plantas de mezcla final de lote seco para administración eficiente de CO_2 a los camiones de concreto e instalación sin problemas de los componentes. El sistema se aplica a operaciones que utilizan una manga de carga para depositar materiales al tambor de un camión de mezcla final; una manga de carga es generalmente un canal encerrado, flexible que se puede colocar a la tolva del camión de mezcla final y guía los materiales al tambor del camión.

[000717] El sistema utiliza componentes además de los

componentes de manga estándar.

[000718] Descripciones de componentes adicionales:

Tubo rígido, por ejemplo, tubo de acero (por ejemplo ID = 2 ¼'')

Manguera flexible, por ejemplo, manguera de caucho flexible (por ejemplo ID = 1 1/2'')

Manguera con camisa de vacío (por ejemplo ID = ¾'')

Válvula solenoide de aire de 4 direcciones, de 5 orificios

Varilla de cilindro de aire telescópica

Deslizador de plástico

Codo giratorio FNPT de 90°, de ¾ de pulgada

Manguera de aire de caucho de ¼'' (x2)

[000719] El sistema de inyección de CO_2 líquido incluye una manguera flexible, por ejemplo, una manguera de caucho, alojada en un tubo de acero. La manguera flexible puede estar compuesta de cualquier material adecuado que posee suficiente flexibilidad para las operaciones del sistema, así como la capacidad de soportar las temperaturas del dióxido de carbono sólido y gaseoso que pasa a través de la misma. El tubo de acero se alinea de tal forma que no se extiende más allá de la parte inferior del depósito de agregado (ver Figura 135), sin embargo, la manguera se extiende a través de la manga de carga y al canal del camión del concreto a través de la acción de una varilla de cilindro de aire telescópica (o dispositivo giratorio), u otro dispositivo adecuado para extender la manguera, durante la inyección. Una vez extendida al canal del camión de concreto, la manguera se alinea por sí misma con el eje central del camión para aumentar al máximo la absorción de CO_2 de concreto, pero no tan lejos para estar en contacto con las aletas de estructuras del camión.

[000720] El tubo de acero se instala directamente por encima

de la manga de carga y se monta en, o cerca de, la tolva de cemento. Ver Figura 135 para una idea de dónde se debe montar el tubo de acero.

[000721] El tubo se coloca de tal forma que está libre de materiales que caen que entran al camión a través de la manga de carga. Dentro del tubo de acero hay un cilindro de aire telescópico y varilla que determina la posición de la manguera flexible. La varilla se controla por una válvula solenoide de aire que permite el flujo de aire al cilindro de aire en dos orificios separados, uno para retraer la varilla y el otro para extenderla. La varilla se conecta a un deslizador de plástico que se coloca dentro del tubo de acero. Se instala un codo giratorio NPT hembra, de 90° en el deslizador de plástico que se utilizará para conectar el flujo de CO_2 del sistema de suministro de CO_2 a la manguera de caucho flexible. Se corta una ranura larga en el lado del tubo de acero para permitir que la línea de CO_2 fluya a la manguera de caucho en su posición extendida. Se utiliza una manguera con camisa de vacío del codo para asegurar que la línea de CO_2 conectada al deslizador de plástico permanezca flexible incluso después de la inyección. Debido al frío extremo del CO_2 líquido una línea hidráulica regular se congelaría durante la inyección y se volvería completamente rígida. La manguera con camisa de vacío es ligeramente más larga que la distancia de la manguera de caucho debe viajar de su posición retraída a su posición extendida, después de esto se permite una línea de cobre o manguera hidráulica aislada al sistema de suministro de CO_2.

[000722] El sistema de inyección se puede controlar de forma manual o por un sistema de control adecuado, tal como un sistema de lógica directa, como se describe más adelante.

Lógica directa

[000723] La válvula solenoide de aire tiene un orificio de

entrada y dos orificios de salida. Cada orificio de salida controla un extremo del cilindro de aire telescópico y se alambra a un conmutador de relé de un solo polo, dos tiros (SPDT). Cuando el conmutador de relé no tiene energía permite el flujo de aire a través de la primera salida de válvula solenoide y mantiene la varilla de cilindro de aire retraída. El uso envía una señal de 120 VCA continua de su sistema a sistema de inyección para comenzar la secuencia de inyección. Una vez que se recibe la señal por el sistema de inyección el conmutador de relé recibe energía, cierra un orificio de salida y abre el otro. Esto provoca que fluya aire a través de la segunda salida en la válvula solenoide de aire y permite que se extienda la varilla. Se utiliza un retardo en la receta de mezcla para asegurar que el CO_2 no comience a inyectarse hasta que está completamente extendida la varilla y la manguera de caucho flexible está en su posición correcta dentro del camión. En este punto el sistema de inyección comienza a permitir el flujo de CO_2 a través del sistema y al camión de concreto. Ver Figura 136 para un esquema de la varilla de cilindro de aire dentro del tubo de acero en su posición retraída y extendida. Se debe señalar que también se pueden utilizar solenoides giratorios, u otro dispositivo adecuado para extender la manguera de caucho flexible al camión, por ejemplo, si el espacio es un problema. Este diseño se puede personalizar para cumplir los requerimientos de la mayoría si no es que todos los productores de mezcla final. Al permitir la limpieza, la válvula solenoide de aire también se puede montar fuera del tubo de acero y extenderse a lo largo del mismo para reducir la longitud.

[000724] El sistema del usuario cuenta las señales de pulso que se envían del sistema de inyección que se igualan a una masa predeterminada de CO_2. Una vez que se logra la dosis requerida de CO_2, el usuario cesa la señal de 120 VCA

continua y el conmutador de relé pierde energía. Esto provoca que la varilla de cilindro de aire se retraiga y remueva la manguera flexible del camión de concreto. La secuencia de inyección no se completa hasta que la varilla está suficientemente retraída para que este fuera del camino de los camiones y materiales que caen. Esto se logra por un mensaje visible en la pantalla de interfaz hombre-máquina (HMI) cuando la varilla retraída activa un sensor de proximidad (o dependiente del tiempo).

Secuencia de inyección

[000725] La válvula solenoide de aire se activa una vez que han pasado todos los materiales a través de la manga de carga y al camión de concreto. Convencionalmente es el último paso en la secuencia de procesamiento por lotes. La secuencia de inyección generalmente no se completa hasta que se haya retraído completamente la varilla y esté fuera del camino de otros materiales que entran a la manga de carga. En este momento se mostrará un mensaje al operador de lotes que se completa la carga y el conductor puede salir debajo de la manga de carga.

[000726] Secuencia de inyección convencional:

1. Un camión de concreto conduce bajo la manga de carga y recibe todos sus materiales (agregado, cemento, agua, etc.)

2. El usuario envía una señal de 120 VCA continua al sistema de inyección una vez que se han cargado todos los materiales para comenzar la inyección de CO_2

3. El sistema de inyección utiliza un conmutador de relé de un solo polo, doble tiro (SPDT) para controlar una válvula solenoide de aire

a. Cuando el conmutador de relé está normalmente cerrado, un orificio de la varilla de cilindro de aire se alimenta para permanecer en su posición retraída

b. Una vez que se recibe la señal del usuario (señal de 120 VCA continua que permanece durante la duración de inyección completa) el conmutador de relé se abre y envía energía al otro orificio en la varilla de cilindro de aire para extender completamente la varilla

4. La varilla de cilindro de aire mueve el deslizador de plástico dentro del tubo de acero, que empuja la manguera de caucho a través de la manga y al canal del camión

5. Después de un retardo predeterminado (generalmente, el tiempo que toma para que la varilla se extienda completamente) el sistema de inyección comienza a inyectar CO_2 al camión

6. El usuario recibe pulsos que se igualan a una masa de CO_2 inyectado. Una vez que el camión ha recibido su dosis requerida, se remueve la señal de usuario de 120 VCA continua y el conmutador de relé mueve de nuevo a normalmente cerrado

7. La varilla de cilindro de aire se retrae, jalando de nuevo la manguera de caucho al tubo de acero lejos de cualquier material que cae en la manga

8. Una vez que se retrae suficientemente la varilla, se muestra un mensaje de “inyección completa” en la pantalla HMI que indica al conductor que es libre de retirar su camión debajo de la manga.

Ejemplo 43

[000727] Este ejemplo proporciona información acerca de la composición de agua de poro en suspensiones espesas de cemento tratadas con diferentes cantidades de dióxido de carbono para carbonatar la suspensión espesa.

[000728] Se preparó una suspensión espesa al combinar 500 g de cemento y 500 g de agua en una mezcladora y mezcla durante 30s. Se consideró la combinación de agua y cemento al inicio

del experimento. En el caso del control se removieron muestras de dosis de CO_2 más bajas 2 minutos después de que comenzó el experimento. Donde fue necesario se introdujo CO_2 al espacio de cabeza de la mezcladora durante 2 minutos en tanto que se mezclaba. Esto se presentó 5 minutos después de que comenzó el experimento. En todos los casos se removieron muestras de la mezcladora en 8 y 30 minutos después del inicio del experimento, que representa el período después de la carbonatación. Se filtraron muestras a través de un cartucho de filtro de 0.22 µm para remover partículas que producen un filtrado claro. El filtrado se acidificó utilizando ácido nítrico y se sometió a análisis químico.

[000729] Los resultados se muestran en las Figuras 138 y 139. La concentración de silicio del agua de poro en un punto de tiempo temprano (8 min) incrementó con el incremento de dosis de dióxido de carbono; incluso una dosis de dióxido de carbono tan baja como 0.05% bwc produjo un incremento notable en la concentración de silicio de agua de poro en este momento; sin embargo, en 30 minutos, la concentración de silicio en el agua de poro prácticamente fue la misma sin importar la dosis de dióxido de carbono utilizada. Las curvas de potencia generalmente cambiaron a la izquierda con el incremento de la dosis de dióxido de carbono.

Ejemplo 44

[000730] En este ejemplo, se examinaron los efectos de diferentes grados de carbonatación en el tiempo de fijación temprano y tardío en dos diferentes tipos de cemento.

[000731] El diseño de mezcla fue: 2700g de arena, 1070g de cemento, y 535g de agua. El procedimiento de mezcla fue como sigue: añadir arena y agua – mezclar 30s; añadir mitad de cemento – mezclar 30s; añadir otra mitad de cemento – mezclar 30s; mezclar durante 2 minutos adicionales aplicando CO_2, si se requiere. El CO_2 se aplicó a una velocidad de flujo de 20

SLPM durante períodos de 15-120s para lograr un nivel deseado de carbonatación. Procedimiento de prueba: transferir toda la mezcla a cilindro de tiempo de fijación y permitir que se asiente durante ~2hrs; llevar a cabo prueba de tiempo de fijación estándar de acuerdo con ASTM C40.

[000732] Los resultados se muestran en las Figuras 140 y 141. Se aceleró tanto la fijación inicial (Figura 140) como la final (Figura 141) por carbonatación, y, en general, entre mayor era el grado de carbonatación, mayor fue la aceleración de la fijación. Esto fue verdadero tanto para el cemento Illinois Product como el cemento St. Mary's Bowmanville, aunque la magnitud del efecto fue diferente para cada uno.

[000733] Este ejemplo ilustra que la carbonatación de una mezcla de cemento durante la mezcla puede acelerar la fijación de una forma que es generalmente dependiente del grado de carbonatación, y también que la magnitud del efecto en el tiempo de fijación varía dependiendo del tipo de cemento utilizado.

Ejemplo 45

[000734] En este ejemplo se investigaron los efectos de adición de SCM a mezclas carbonatadas.

[000735] En una primera prueba, se cementó solamente el aglutinante en el diseño de mezcla: 1350g de arena; 535g de cemento; 241g de agua; 3 mL de aditivo ADVA 140. En una segunda prueba, se cementó el aglutinante en el diseño de mezcla y la ceniza volante: 8100g de arena; 2407g de cemento; 802.5g de ceniza volante clase C; 1445g de agua; 8.4 mL de aditivo Zyla 620. En cada caso, se utilizaron dos cementos diferentes. Las mezclas se carbonataron a tres dosis diferentes de dióxido de carbono y se comparó la resistencia de compresión de 24 horas con mezcla no carbonatada.

[000736] En todas las mezclas con cemento sólo como aglutinante, todas las dosis de dióxido de carbono dieron por

resultado una resistencia a la compresión de 24 horas menor en comparación con el control para ambos tipos de cemento (Figura 142). En contraste, en las mezclas con cemento y ceniza volante clase C como aglutinante, todas las dosis de dióxido de carbono dieron por resultado resistencia a la compresión de 24 horas mayor comparada con el control para ambos tipos de cemento (Figura 143).

[000737] Este ejemplo demuestra que el efecto de dióxido de carbono es altamente dependiente de la mezcla, y, en particular, cambios sutiles en la química de la mezcla (adición de ceniza volante) da por resultado cambios notables a la respuesta de resistencia en 24 horas. Se logró una mejora de resistencia cuando la mezcla contuvo ceniza volante.

Ejemplo 46

[000738] En este ejemplo, se combinaron datos de 12 diferentes ensayos industriales y se presentaron de forma gráfica.

[000739] Se llevaron a cabo pruebas iniciales de carbonatación de mezclas de concreto en 12 diferentes ubicaciones industriales. En la mayoría de los casos, se utilizaron al menos dos o tres dosis diferentes de dióxido de carbono; se muestran los resultados para la mejor dosis. Por lo tanto, las condiciones se pueden considerar "semi-optimizadas", ya que no se realizó en general una determinación cuidadosa de la dosis óptima. Los resultados representan una variedad de modos de inyección (por ejemplo, durante procesamiento por lotes o en un foso de lavado, dosis individual o en serie); para cada modo de inyección diferente, se presentan los resultados para la mejor dosis. La Figura 144 representa resultados de resistencia, marcados en círculos, la banda más oscura interna representa la mitad del 50% de los resultados, la banda más oscura externa

representa 90% de todos los resultados, se indica el resultado promedio. En todos los puntos de tiempo (1, 3, 7, y 28 días) la resistencia a la compresión promedio del concreto carbonatado (mejor dosis en cada ensayo; mejor tamaño de dosis variada con diseño de mezcla, condiciones de ensayo) fue 8-12% mayor que el control no carbonatado. El valor atípico más alto fue aproximadamente 190% de la resistencia a la compresión de control (1 día) mientras que el valor atípico más bajo fue aproximadamente 98% de la resistencia a la compresión de control (1 día y 28 días). La Figura 145 representa asentamiento – el resultado promedio para las condiciones de CO_2 fue 0.57'' (1.44 cm) menor que el control, la mediana fue 0.50'' (1.27 cm) menor. Esta diferencia fue aceptable y dentro de la variación normal. La Figura 146 representa contenido de aire – resultados promedio para condiciones de CO_2 fue 0.40% menor que el control, la mediana fue 0.20% menor. Esta diferencia fue aceptable y dentro de la variación normal.

[000740] Este ejemplo demuestra que la carbonatación de las mezclas de concreto durante la mezcla produce consistentemente una mezcla que tiene mayor resistencia a la compresión, tanto de forma temprana como tardía, en comparación con mezcla no carbonatada, con asentamiento y características de aire aceptables, siempre y cuando se elija una dosis óptima para la mezcla y las condiciones.

[000741] En tanto que se han mostrado y descrito modalidades preferidas de la presente invención, será evidente para aquellos expertos en la técnica que se proporcionan estas modalidades solamente a manera de ejemplo. Ahora se les ocurrirá varias variaciones, cambios, y sustituciones a aquellos expertos en la técnica sin apartarse de la invención. Se debe entender que se pueden emplear diferentes alternativas a las modalidades de la invención descrita en la

presente para practicar la invención. Se propone que las siguientes reivindicaciones definan el alcance de la invención y que los métodos y estructuras dentro del alcance de estas reivindicaciones y sus equivalentes estén cubiertos de esta forma.