

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 988 728**

51 Int. Cl.:

B28C 5/42 (2006.01)

G05B 1/11 (2006.01)

G06Q 10/06 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.12.2018** **PCT/US2018/064822**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2019** **WO19125813**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.12.2018** **E 18891934 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2024** **EP 3727774**

54 Título: **Gestión de catálogos de diseños de mezclas de hormigón**

30 Prioridad:

22.12.2017 US 201762609421 P

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

21.11.2024

73 Titular/es:

VERIFI LLC (100.0%)
20 Moores Road
Malvern, PA 19355, US

72 Inventor/es:

TREGGER, NATHAN A.;
ROBERTS, MARK F.;
ROBERTS, LAWRENCE R. y
GOLDSTEIN, GREGORY, A.

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 988 728 T3

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

DESCRIPCIÓN

Gestión de catálogos de diseños de mezclas de hormigón

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere al campo de los materiales cementantes hidratables, y más particularmente, a la gestión del catálogo de diseños de mezclas de un productor de hormigón, basándose en la identificación de conglomerados de datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de entregas de hormigón en tránsito de cargas de hormigón individuales hechas a partir de varios diseños de mezclas, y a la clasificación de cada conglomerado de curvas basándose en factores de selección según lo desee el productor de hormigón.

Antecedentes de la invención

15 Los productores de hormigón, como los fabricantes de hormigón premezclado o prefabricado, requieren diferentes diseños de mezclas de hormigón para cumplir con los objetivos de resistencia y asentamiento de diversos clientes y para abordar diversas aplicaciones (por ejemplo, pavimentos, columnas). Normalmente, el diseño de una mezcla de hormigón tiene en cuenta diversos factores, entre ellos el tipo de cemento, el tipo y la relación de agregados, la relación agua-cemento (w/c), el aditivo o aditivos químicos, las características del aire, los métodos de colocación y muchos otros factores.

La expresión “catálogo de diseños de mezclas” tal como se usa en el presente documento se refiere a la recopilación o acumulación de varios diseños de mezclas de hormigón de un productor de hormigón determinado. Los productores de hormigón acumulan rápidamente diseños de mezclas de hormigón en sus catálogos a lo largo del tiempo.

25 En la industria de la construcción, los productores de hormigón exitosos generalmente tienen una larga trayectoria en el negocio. Al ampliar la base de clientes o adquirir plantas de producción, por ejemplo, un productor de hormigón puede aumentar rápidamente el número de su oferta de productos de decenas a cientos, de cientos a miles e incluso a decenas de miles. La relación de diseños de mezclas significativamente diferentes y útiles puede variar ampliamente. Es decir, para muchos productores de hormigón, podría haber una gran cantidad de diseños de mezclas duplicados, lo que significa que varios diseños podrían descartarse efectivamente del catálogo de diseños de mezclas. Sin embargo, como se explicará más adelante, la limpieza de bases de datos internas puede ser una carga pesada para el productor de hormigón y con frecuencia no se realiza en la industria del hormigón.

35 Los productores de hormigón recopilan diseños de mezclas de hormigón a lo largo del tiempo por numerosas razones. Tales razones incluyen, por ejemplo, diferentes aplicaciones de construcción que requieren diferentes agregados, diferentes mezclas de agregados o diferentes relaciones de mezcla (por ejemplo, agregado grueso a fino), diferentes cantidades de agua dependiendo de los paquetes de agregados (véase, *por ejemplo*, ACI 211-65) y diferentes componentes de mezcla (por ejemplo, incorporadores de aire, inhibidores de corrosión, plastificantes, etc.).

40 También pueden surgir diversos diseños de mezclas de hormigón debido a una gran cantidad de consideraciones técnicas o de rendimiento específicas y requisitos del cliente. Por ejemplo, las fuentes de materiales y materias primas cambian con el tiempo. Estos incluyen cementos, puzolanas, agregados, aditivos químicos y otros componentes. La sustitución de componentes puede implicar nuevas relaciones de mezcla. Todas estas consideraciones dan lugar a nuevos diseños de mezclas.

Un equipo de ventas o un departamento de control de calidad puede generar nuevos diseños de mezclas para satisfacer las solicitudes individuales de los clientes. La implementación de nuevos códigos de diseño de mezclas en diseños de mezclas “nuevos” podría implicar cambios menores en la mezcla de componentes real. Esto podría generar diferencias insignificantes en términos de calidad o rendimiento entre dos diseños de mezcla diferentes.

55 Los presentes inventores creen que con el tiempo el catálogo de diseños de mezclas crece en tamaño porque los diseños de mezclas antiguos se conservan en el catálogo incluso cuando se agregan diseños de mezclas nuevos. Como un nuevo diseño de mezcla a menudo requiere pruebas de laboratorio o a gran escala para confirmar el rendimiento, los productores dudan en eliminar los diseños de mezcla de sus catálogos. Esto se debe en parte al deseo de evitar perder inversiones pasadas en las pruebas del diseño de mezcla, así como a la consideración de que el rendimiento del diseño de mezcla anterior puede ser necesario o solicitado para un proyecto futuro.

60 Sin embargo, debido al rápido crecimiento del número de diseños de mezclas, a los productores de hormigón les resulta cada vez más difícil confirmar si un diseño de mezcla existente cumplirá con los requisitos específicos de un futuro cliente. Esto es especialmente cierto si se produce un cambio en un material que se requiere en una gran porción de los diseños de mezcla dentro del catálogo de mezclas. El solo hecho de reevaluar una gran cantidad de diseños de mezclas existentes significa que se necesitaría mucho tiempo para examinar una colección de diseños de mezclas y confirmar que un diseño de mezcla determinado dentro de la colección lograría un rendimiento deseado específico. El creciente número de diseños de mezclas impide la capacidad y frustra la determinación de un grupo de control de calidad para gestionar el catálogo de diseños de mezclas. En otras palabras, la gran cantidad de diseños de mezclas

genera una capacidad limitada para comprobar el rendimiento mediante pruebas físicas, ya que el esfuerzo se distribuye entre los muchos diseños de mezclas. Esto diluye la calidad de la información para cualquier diseño de mezcla, lo que conduce a un sobrediseño mayor, como lo exigen normas como ACI 318-14. Por tanto, los presentes inventores creen que la proliferación misma de diseños de mezclas constituye en sí misma un irritante aumento de costos para los productores de hormigón.

Aunque existen métodos para crear nuevos diseños de mezclas, incluido el método ACI de diseño de mezclas (ACI 211.1-91), los métodos desarrollados por Ken Day (Diseño de mezclas de hormigón, control de calidad y especificación), los métodos desarrollados por Francois de Larrard (Dosificación de mezclas de hormigón) y Per Andersen (véase, por ejemplo, la patente de EE. UU. n.º 7.386.368, en donde se describe el uso de un "factor K" para generar nuevos diseños de mezclas), no existen en la actualidad métodos para gestionar los distintos diseños de mezclas que un productor de hormigón ha acumulado en su catálogo de diseños de mezclas a lo largo del tiempo, basándose en procesos de monitorización reológicos en tiempo real.

En consecuencia, los presentes inventores creen que la industria del hormigón necesita una forma novedosa e inventiva de gestionar de manera eficiente y eficaz el catálogo de diseños de mezclas de un productor de hormigón. El documento WO 2017/099.711 A1 describe un método y un sistema para la calibración de monitorización de hormigón usando datos de velocidad de salto del tambor de una mezcladora montada en camión asimilados selectivamente a partir de entregas anteriores. El método implica medir la energía a una primera velocidad del tambor y a una segunda velocidad del tambor. El asentamiento se calcula usando datos de curva de energía/velocidad/asentamiento de baja velocidad o una ecuación previamente almacenada en donde el asentamiento se deriva como una función de la pendiente de la línea. La relación de energía, velocidad y asentamiento en el hormigón proporcionado se compara con al menos dos curvas de datos almacenados previamente en rangos de velocidad del tambor de 15 0,5 RPM - 6 RPM y 6 RPM - 20 RPM, para determinar si el hormigón provisto coincide con alguno de los datos de curva almacenados; ya sea activando el sistema de monitorización para todos los rangos de velocidad del tambor donde se confirma una coincidencia o permitiendo que el sistema de monitorización calcule el asentamiento solo a bajas velocidades del tambor.

Resumen de la invención

Al abordar el problema de los catálogos de diseño de mezclas en constante expansión de los productores de hormigón, la presente invención facilita la capacidad de un productor de hormigón de organizar, gestionar y seleccionar un diseño de mezcla dentro de un catálogo de diseños de mezclas de hormigón altamente poblado y, en última instancia, reducir la cantidad de diseños de mezclas que se requieren considerar para cumplir con los requisitos de un proyecto determinado, concentrando por tanto la información por diseño de mezcla determinado, lo que finalmente conduce a un menor sobrediseño.

La invención proporciona un proceso y un sistema que pueden implementarse, usando dispositivos y componentes de monitorización que están disponibles comercialmente en la industria del hormigón, según las enseñanzas que se describirán particularmente en el presente documento.

En la reivindicación 1 se define un proceso de la invención para gestionar una pluralidad de diseños de mezcla dentro del catálogo de diseños de mezcla de un productor de hormigón.

En la reivindicación 13 se define un sistema de la invención para gestionar una pluralidad de diseños de mezcla dentro del catálogo de diseños de mezcla de un productor de hormigón.

En realizaciones ilustrativas de la invención, el factor de selección puede elegirse entre coste, rendimiento, propiedad o característica física u otras consideraciones. Los ejemplos de factores de selección pueden incluir (a) el coste del material del diseño de mezcla; (b) el coste de material de cualquiera de los componentes de mezcla; (c) número de entregas anteriores; (d) volumen total entregado de un diseño de mezcla de hormigón particular; (e) número de resultados de pruebas de resistencia disponibles; (f) estados de aprobación presentados; (g) fuente de los materiales usados en la mezcla de hormigón; (h) una característica o propiedad de un material agregado usado en el diseño de mezcla; (i) una característica o propiedad de hidratación del cemento usado en el diseño de mezcla; (j) una característica o propiedad de la densidad de empaquetado dentro de la mezcla de hormigón; (k) una característica o propiedad de la durabilidad o naturaleza reactiva de la mezcla de hormigón; (l) una característica o propiedad de la colocación de la mezcla de hormigón; (m) aditivo químico usado en la mezcla de hormigón; (n) característica del aire del hormigón; (o) diámetro de la manguera o tubería usada para transportar el hormigón desde el camión de reparto, mezclador o bomba hasta el sitio de colocación real en el lugar de construcción; o (p) una combinación de cualquiera de los factores anteriores.

Al principio, el productor de hormigón puede asignar un valor de resistencia a una mezcla de hormigón determinada usando cualquier número de métodos disponibles. Normalmente, cuando se produce un nuevo diseño de mezcla, usando, por ejemplo, ACI 211.1-91, se pueden usar estimaciones conservadoras para la relación agua/cemento para lograr una resistencia determinada. Por ejemplo, se puede lograr una resistencia de 28 días de 41000 kPa (6000 psi) con una relación agua/cemento de 0,41 para una mezcla de hormigón sin aire incorporado, sujeto a una mezcla de

prueba producida físicamente para asegurar propiedades correctas, tales como asentamiento y resistencia. Según normas como ACI 318-14, para lograr una resistencia de diseño (para satisfacer los requisitos estructurales del hormigón), uno está obligado a esforzarse por lograr promedios de resistencia más altos. Esto se basa en la variabilidad de la producción y, debido a esta variabilidad inherente (que puede reducirse con un control de calidad más estricto), el diseño de mezcla debe sobrediseñarse para garantizar que la resistencia de diseño se cumpla sobre una base estadísticamente aceptable. Con frecuencia, en los diseños de mezclas, se designa la resistencia de diseño y, para los casos de la presente invención, puede ser una forma de asignar los criterios de resistencia. Otros factores pueden ayudar a asignar resistencias de diseño, por ejemplo, el productor podría comenzar inicialmente usando la relación agua/cemento estándar como una indicación del valor de resistencia. Existen métodos de aumento de resistencia más sofisticados. El productor podría utilizar alternativamente los métodos de Anderson y col. en la Patente de EE. UU. n.º 7.386.368, en donde la resistencia, el asentamiento y el coste se estiman usando un “factor K” que implica la consideración de la influencia de los materiales de una planta en la resistencia del hormigón, aunque los presentes inventores sospechan que este proceso podría ser abrumador ya que las fuentes de materiales cambian con el tiempo.

Los presentes inventores han descubierto inesperadamente que podrían existir diseños de mezclas con componentes de mezcla muy diferentes pero que sorprendentemente podrían compartir las mismas características reológicas, y viceversa, que los diseños de mezclas con componentes de mezcla aparentemente similares podrían tener un comportamiento de movimiento (por ejemplo, asentamiento) diferente. La presente invención proporciona un proceso para gestionar catálogos de diseño de mezclas altamente poblados que tienen un gran número de diseños de mezclas superfluos; y ofrece una serie de ventajas, como se describe en el párrafo siguiente.

Los gestores de control de calidad podrán reducir de cientos y posiblemente miles de diseños de mezclas a quizás veinte o treinta diseños de mezclas. Esto facilitará el control de calidad, permitiendo a los gestores centrarse en la variación de un menor número de diseños de mezclas y quizás identificar más rápidamente las causas de las variaciones. Menos diseños de mezclas significa que el productor de hormigón puede dedicar más tiempo a cada diseño de mezcla, lo que proporciona mayores volúmenes de información por diseño de mezcla y, por lo tanto, precisión en términos de monitorización de asentamiento así como en pruebas de resistencia; o, en otras palabras, el productor puede así obtener información más rápidamente sobre el rendimiento de las mezclas de hormigón sobre una base estadísticamente más significativa. Esto puede evitar el sobrediseño de una mezcla (por ejemplo, agregar cemento adicional para garantizar que se cumplan los requisitos de resistencia) y permitir al productor optimizar un diseño de mezcla sin, por ejemplo, gastar dinero en cemento adicional.

A continuación se analizan otras ventajas y características de la invención.

Breve descripción de los dibujos

Una apreciación de los beneficios y características de la invención se puede comprender más fácilmente cuando se considera la siguiente descripción escrita de realizaciones preferidas junto con los dibujos como se describe en los párrafos siguientes.

La Figura 1 es una ilustración gráfica de un proceso automatizado de monitorización de hormigón en donde la energía (por ejemplo, presión hidráulica en términos de libras por pulgada cuadrada (1 libra por pulgada cuadrada es equivalente a 6900 Pa) medida a lo largo del eje vertical izquierdo) asociada con el giro de una carga de mezcla de hormigón dentro de un tambor mezclador giratorio se monitoriza a diferentes velocidades del tambor (por ejemplo, revoluciones por minuto o “rpm” como se indica en el eje vertical derecho) a lo largo del tiempo (medido en horas:minutos como se indica en el eje horizontal).

La Figura 2 es una ilustración gráfica de curvas que representan valores de datos de energía (por ejemplo, presión hidráulica) y de asentamiento correspondientes a cinco diseños de mezclas de hormigón diferentes, monitorizados a una velocidad de giro constante del tambor.

La Figura 3 es una ilustración esquemática que sugiere el número multiplicativo de calibraciones de “escalera de asentamiento” que podrían requerirse para una cuenta de la planta de hormigón premezclado para la cual un productor de hormigón puede necesitar entregar cargas de hormigón hechas de varios tipos de mezclas (es decir, grupos de diseños de mezclas que tienen, por ejemplo, contenidos de agua o cemento similares) y varios tipos de camiones mezcladores diferentes.

La Figura 4 es una ilustración gráfica de la presión/velocidad del tambor monitorizada a lo largo del tiempo, en donde la línea continua ilustra la presión hidráulica (psi (1 psi equivale a 6900 Pa)) y la línea de puntos ilustra la velocidad del tambor (rpm), y en donde el tiempo transcurrido se designa a lo largo del eje horizontal.

La Figura 5 es una ilustración gráfica de numerosas curvas correspondientes a varias mezclas de hormigón con diferentes diseños de mezcla que se monitorizaron en cuanto al asentamiento (eje vertical) y a la presión hidráulica (eje horizontal) a una velocidad del tambor.

La Figura 6 es una ilustración gráfica de las curvas de datos generadas al medir el asentamiento (eje vertical) contra la presión hidráulica (eje horizontal) para seis diseños de mezcla diferentes a una velocidad del tambor, en donde se ve que los dos diseños de mezcla diferentes en la parte inferior del gráfico definen el mismo comportamiento de la curva de asentamiento/presión y, por tanto, se considera que se mueven de la misma manera y, por tanto, se pueden cotejar o compilar como un “conglomerado” de curvas de datos con el fin de reducir la cantidad de diseños de mezcla de hormigón, lo que se puede hacer usando uno o más factores de selección, como se enseña según la presente invención.

La Figura 7 es un histograma tridimensional en donde se representan 608 diseños de mezcla en total según el número de diseño de mezcla (indicado a lo largo del eje vertical izquierdo) que pertenece a un conglomerado de curva de asentamiento (como se asigna a lo largo del eje horizontal izquierdo) y que tiene un valor de resistencia asignada (como se indica a lo largo del eje horizontal más a la derecha).

La Figura 8 es un gráfico bidimensional derivado del histograma tridimensional de la Figura 7 en donde los 608 diseños de mezcla total se pueden reducir a 37 diseños de mezcla total diferentes que tienen el mismo comportamiento de curva de asentamiento (mismo conglomerado) en los valores de resistencia asignada.

La Figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra varias etapas dentro de un proceso ilustrativo de la presente invención.

La Figura 10 es un diagrama bidimensional que ilustra un método ilustrativo de la invención para interpolar un nuevo diseño de mezcla de hormigón basándose en información de un catálogo de mezclas de hormigón existente.

Descripción detallada de realizaciones ilustrativas

A. Definiciones

El término “hormigón” se refiere a una mezcla de cemento (que a menudo contiene materiales cementantes suplementarios como piedra caliza, cenizas volantes, escoria granulada de alto horno y otros materiales puzolánicos) y agregados (por ejemplo, agregado fino como arena, agregado grueso como grava) y opcionalmente uno o más aditivos químicos (por ejemplo, plastificantes para aumentar la trabajabilidad, aceleradores de fraguado, retardadores de fraguado, incorporadores de aire, desacopladores de aire, aditivos reductores de contracción plástica, inhibidores de corrosión (para varillas de refuerzo) para modificar el hormigón en su estado plástico o endurecido. Se considera que el hormigón es un material hidratable porque la adición de agua a la mezcla de cemento y agregados inicia una reacción de endurecimiento.

El término “cemento” incluye cemento hidratable como cemento Portland, tal como se utiliza en la presente memoria, incluye el cemento hidratable que se produce pulverizando clínker compuesto por silicatos, aluminatos y aluminoferritas cálcicas hidráulicas y una o más formas de sulfato cálcico (por ejemplo, yeso) como aditivo intermedio. Normalmente, el cemento Portland se combina con uno o más materiales cementantes suplementarios, como cenizas volantes, escoria granulada de alto horno, piedra caliza, puzolanas naturales o mezclas de estos, y se proporciona como una mezcla, todos los cuales unen los agregados para formar el hormigón.

El término “áridos” se refiere a partículas de arena y piedra, que suelen tener un tamaño medio de 0,5 a 50 mm. Los áridos también pueden incluir minerales calcáreos, silíceos o calizos silíceos. Estos agregados pueden ser del tipo “natural” (por ejemplo, derivados de depósitos glaciares, aluviales o marinos que normalmente están erosionados de tal manera que las partículas tienen superficies lisas) o pueden ser del tipo “manufacturado”, que se fabrican usando trituradoras mecánicas o dispositivos de molienda. Las partículas de piedra agregada gruesa generalmente se agrupan en fracciones de distintos tamaños, como se describe, por ejemplo, en ASTM C33-16e. Como la fracción de tamaño utilizada está controlada por varios factores, incluidos, entre otros, el espacio entre las barras de refuerzo en una construcción propuesta, el tamaño del agregado es a menudo un factor muy considerado al diseñar una mezcla de hormigón. Los agregados también pueden significar y referirse a agregados livianos, como pizarra expandida, piedra pómez, ceniza volante sinterizada u otros rellenos de baja densidad.

Los términos “diseño de mezcla de hormigón”, “diseño de mezcla” y “relación de mezcla” se refieren a los ingredientes y relaciones de los ingredientes utilizados para fabricar un hormigón determinado que tenga una o más propiedades deseadas, ya sea en estado plástico, estado endurecido o ambos. Una mezcla de hormigón a menudo se diseña basándose en varios factores, como, por ejemplo, el tipo de cemento, el tipo de agregado, la relación agua/cemento, la mezcla química, las características del aire y otros factores o ingredientes. Estos y otros “factores de selección” se analizarán más detalladamente más adelante, una vez que se haya realizado una discusión general sobre cómo se monitorizan las distintas mezclas de hormigón del catálogo de diseños de mezclas de un productor de hormigón para obtener datos de curva de asentamiento.

La expresión “catálogo de diseños de mezclas” se refiere generalmente a una colección, compilación o depósito de varios diseños de mezclas dentro del control de un productor de hormigón y al que se puede acceder mediante un procesador informático. Puede referirse a uno o más archivos o carpetas electrónicos, incluidas las ubicaciones de

almacenamiento en la nube o entre varios dispositivos informáticos o sistemas de procesamiento de computadoras, bajo el control y sujetos al acceso del productor de hormigón.

Los diseños de mezcla se designan mediante un “código de mezcla” o símbolo que es un identificador de las relaciones particulares de los ingredientes. Un conjunto de relaciones idénticas de ingredientes puede tener códigos de mezcla diferentes. Además, un código de mezcla dentro de la colección de códigos de mezcla de un productor determinado puede referirse a diferentes relaciones de ingredientes. Este caso surge cuando se utiliza el mismo diseño de mezcla básica en diferentes plantas de hormigón en propiedad o controladas por un único productor de hormigón. Dado que cada planta de hormigón puede obtener materiales de distintos lugares (por ejemplo, áridos de distintas canteras locales), las relaciones de los ingredientes pueden variar ligeramente.

Las relaciones de los componentes del diseño de mezcla (por ejemplo, cemento, agregado, agua, aditivos opcionales) pueden expresarse como cantidades de material por volumen de hormigón (por ejemplo, 277,2 kg (611 libras) de cemento por 0,76 m³ (1 yarda cúbica) de hormigón). Las relaciones también pueden expresarse como fracciones o porcentajes (por ejemplo, 85 g (3 onzas) de un aditivo superplastificante por 45 kg (100 libras) de cemento). Los componentes del hormigón a menudo se describen en términos de tipos: como cemento, materiales cementantes suplementarios, agregados (finos, gruesos o ambos), agua y aditivos. Los componentes pueden caracterizarse individualmente en términos de tipo o fuente.

Por ejemplo, si existe más de una fuente de un material particular para un productor, el diseño de mezcla podría indicar el tipo particular (por ejemplo, cemento ASTM Tipo I frente a cemento ASTM Tipo III, o piedra ASTM C33 #57 frente a piedra ASTM C33 #7) o la fuente (por ejemplo, agregado grueso que se extrae del lecho de un río frente a agregado grueso que se tritura en una cantera).

Se puede incluir información adicional en el diseño de mezcla, junto con las relaciones de los ingredientes, como, por ejemplo, los valores de rendimiento objetivo. Estos valores de rendimiento pueden ser una resistencia de diseño (por ejemplo, resistencia a los 28 días), un asentamiento o rango de asentamiento objetivo, un contenido de aire o rango de aire objetivo, un objetivo o rango de durabilidad (por ejemplo, contracción, fluencia, etc.), etc.

La expresión “resistencia asignada” se refiere a un valor de resistencia asociado con un diseño de mezcla particular. El productor de hormigón normalmente asigna un número correspondiente al valor de resistencia a la compresión (normalmente en unidades de libras por pulgada o PSI (1 psi equivale a 6900 Pa)) tal como se obtiene a partir de pruebas empíricas de muestras de cilindros realizadas según normas como ACI 211.1-91 y ACI 318-14. Si bien ACI 211.1-91 designa una resistencia de diseño (es decir, la resistencia para satisfacer los requisitos estructurales), ACI 318-14 designa una resistencia promedio requerida, donde este valor tiene en cuenta tanto la resistencia de diseño como la variabilidad del diseño de mezcla producida. Por tanto, la resistencia media requerida incluye un sobrediseño a partir de la resistencia de diseño para garantizar que la resistencia de diseño se cumpla sobre una base estadísticamente aceptable. El valor o número de resistencia asignada puede elegirse como la resistencia de diseño o la resistencia promedio requerida. Alternativamente, el productor de hormigón puede asignar un número de resistencia basado en la relación agua/cemento, el contenido de cemento, la fracción de empaquetado u otros factores.

La expresión “datos de curva de asentamiento” como se usa en el presente documento se referirá a los datos necesarios para predecir el asentamiento u otro parámetro reológico como el límite elástico, la viscosidad, la tixotropía, etc., basándose en lecturas de sensores que monitorizan recipientes de mezcla como un tambor mezclador en un camión de hormigón o un mezclador estacionario en una planta de hormigón prefabricado. Diferentes aplicaciones pueden requerir diferentes consideraciones reológicas (por ejemplo, menor viscosidad para bombear a través de mangueras). Algunos ejemplos de lecturas de sensores incluyen el giro del tambor del mezclador, la energía necesaria para girar el tambor y la fuerza en una sonda interna dentro del mezclador, entre otros. Los datos de curva de asentamiento permiten predecir el asentamiento basándose en el movimiento del hormigón dentro del mezclador y, por lo tanto, proporcionan una descripción del movimiento del hormigón dentro del mezclador.

El término “asentamiento” como se usa en el presente documento se referirá a la propiedad de trabajabilidad del hormigón, tal como se determina usando la medición de asentamiento vertical convencional del hormigón usando un cono truncado estándar (véase, por ejemplo, ASTM C143-15a); pero esto también podría incluir el “flujo de asentamiento” mediante el cual la trabajabilidad se determina usando la medición de la extensión horizontal del hormigón cuando se libera del cono (véase, por ejemplo, ASTM C1611-14). La expresión “característica de asentamiento” puede usarse también para referirse a una o ambas de estas propiedades reológicas y para enfatizar que la presente invención no está limitada necesariamente a mediciones o monitorización de asentamiento o flujo de asentamiento, sino que puede comprender valores reológicos relacionados, tales como límite elástico también. El término “asentamiento” se usa en el presente documento por conveniencia para hacer referencia a la reología del hormigón y a los sistemas de gestión/monitorización del hormigón.

B. Sistemas de monitorización (asentamiento) de hormigón

La “energía” (E) asociada con el hormigón giratorio dentro del tambor mezclador se puede monitorizar usando sensores de presión hidráulica cuya salida puede correlacionarse con el asentamiento, el flujo de asentamiento, el

límite elástico, la viscosidad u otro valor reológico (*Véase, por ejemplo*, la Patente de EE. UU. 8.118.473 de Compton y col., Patente de EE. UU. 8.020.431 de Cooley y col. y la Patente de EE. UU. 8.989.905 de Sostaric y col., propiedad de Verifi LLC, una unidad comercial de GCP Applied Technologies Inc. de Cambridge, Massachusetts, EE. UU.

La Patente de EE. UU. 8.727.604 de Compton y col. (también propiedad de Verifi, LLC) describió que los sensores para monitorizar la presión hidráulica asociada con el giro del tambor mezclador podrían usarse con sensores de velocidad de giro para calificar un cálculo del asentamiento actual basándose en la presión hidráulica requerida para girar el tambor mezclador, de modo que se pueda registrar un historial preciso del comportamiento de asentamiento a varias velocidades del tambor en una memoria accesible al procesador informático y usarlo en un momento posterior. Preferiblemente, dichos sensores se usan tanto en los puertos de carga como de descarga del sistema hidráulico que controla el motor del tambor mezclador.

La energía asociada con el giro del hormigón en un tambor mezclador también se puede controlar usando sondas de fuerza o tensión dentro del tambor mezclador de hormigón. En estos casos, la fuerza o tensión del hormigón sobre la sonda se mide a medida que la sonda gira a través del hormigón durante el giro del tambor y se correlaciona con el asentamiento del hormigón (*Véase, por ejemplo*, las Patentes de EE. UU. n.º 8.858.061 y 9.199.391).

Por lo tanto, los sensores de presión hidráulica, medidores de fuerza, tensión o deformación y similares, se pueden utilizar en combinación con sensores de velocidad de giro (por ejemplo, acelerómetros como los mencionados en la Patente de EE. UU. 8.727.604 de Compton y col.; la Patente de EE. UU. con n.º de publicación 2015/0142362 de Jordan y col.; la Patente de EE. UU. 9.199.391 de Beaupre y col., y la Patente de EE. UU. con n.º de publicación 2015/0355160 de Berman, etc.) para proporcionar valores de salida que se puedan correlacionar con el asentamiento, el flujo de asentamiento, el límite elástico, la viscosidad y/u otros valores reológicos para monitorizar o predecir el comportamiento o el estado reológico de una mezcla de hormigón en un tambor mezclador giratorio.

Los sistemas automatizados de gestión (monitorización) del asentamiento del hormigón para gestionar el asentamiento u otras propiedades reológicas están disponibles comercialmente, por ejemplo, por Verifi LLC, 62 Whittemore Avenue, Cambridge, Massachusetts, EE. UU., que ha divulgado varios métodos y sistemas automatizados de monitorización del hormigón en la literatura de patentes, como las Patentes de EE. UU. n.º 8.020.431; 8.118.473; 8.311.678; 8.491.717; 8.727.604; 8.746.954; 8.764.273; 8.818.561; 8.989.905; 9.466.803; 9.550.312; el documento PCT/US2015/025.054 (con n.º de publicación WO 2015/160.610 A1); y el documento PCT/US2014/065.709 (con n.º de publicación WO2015073.825 A1).

Alternativamente, el sistema de monitorización de asentamiento puede basarse en el uso de un sensor de fuerza que está montado dentro del tambor, como se enseña, por ejemplo, en las Patentes de EE. UU. n.º 8.848.061 y 9.625.891 de Berman (Sensocrete Inc., que es propiedad de GCP Applied Technologies Inc.), la Patente de EE. UU. n.º 9.199.391 de Denis Beaupre y col. (Command Alkon Inc.), o la publicación de EE. UU. n.º 2009/0171.595 y WO 2007/060.272 de Benegas.

Por tanto, si bien las relaciones energía/velocidad/asentamiento (“EVS”) en donde la energía (E), la velocidad del tambor (V) y el asentamiento (S) se pueden establecer usando cualquiera de una variedad de tipos de sensores, a los inventores también les gusta considerar la relación entre los cambios de energía (ya sea medida como una lectura de presión, fuerza o tensión) correlacionados a medida que cambia la velocidad del tambor mezclador de hormigón, de modo que las correlaciones entre E, V y S no sean de naturaleza lineal. En consecuencia, los presentes inventores han comenzado a describir la relación EVS en términos de “curvas de asentamiento”, ya que un gráfico bidimensional de la energía (por ejemplo, presión hidráulica) asociada con el giro del hormigón a diferentes velocidades del tambor (V) aparece como una curva o forma curvilínea en lugar de una línea recta con respecto al asentamiento (o flujo de asentamiento, viscosidad, etc.).

Además, estas relaciones EVS entre energía/velocidad/asentamiento varían para diferentes mezclas de hormigón. En la publicación PCT n.º WO 2017/099.711, titulada “Wide Speed Range Concrete Monitoring Calibration”, Tregger y Roberts y col. describieron un método para calibrar sistemas de monitorización automatizados mediante el examen de las relaciones EVS en diferentes diseños de mezcla, así como en un amplio rango de velocidades de giro del tambor mezclador de hormigón. Sin embargo, los beneficios de las enseñanzas del documento WO 2017/099.771 dieron lugar a un nivel más refinado de datos reológicos que de otra manera no podrían obtenerse usando simples sensores para medir una propiedad reológica dada como el asentamiento, ya que estos beneficios no se limitan a la medición únicamente del valor del asentamiento.

La comprensión de la presente invención se verá mejorada mediante una explicación de los avances evolutivos en los sistemas de monitorización (asentamiento) de hormigón. Esto comienza con un análisis sobre cómo la energía requerida para girar el hormigón en un tambor mezclador se ha correlacionado inicialmente con el asentamiento para obtener una “curva de asentamiento”. Esto avanza hacia un análisis de los refinamientos en la conceptualización de las curvas de asentamiento y las pruebas de “escalera” de asentamiento. Estos problemas anteriores y su resolución dieron lugar a los descubrimientos sorprendentes e impredecibles que sustentan la invención actual.

C. Saltos de amplio rango de velocidad: Construcción de escaleras de asentamiento usando datos de curvas

Originalmente, se asumió que había una relación simple entre la energía asociada con el movimiento del hormigón en un tambor mezclador y el asentamiento de la mezcla a una velocidad de giro del tambor determinada. Para entender esta relación, el fabricante del sistema de monitorización tuvo que realizar lo que se denominó un proceso o prueba de “escalera”. El proceso de escalera de asentamiento requería que el fabricante ajustara el asentamiento de manera incremental desde 2,5 y 23 cm (una y nueve pulgadas) o más mediante la adición de agua o aditivos; y medir el asentamiento manualmente en cada incremento usando el método de cono de asentamiento convencional (por ejemplo, ASTM C143-15a o ASTM C1611-14) para permitir que los datos del sensor se correlacionen con los valores de asentamiento medidos. Como los datos del sensor se analizaron a diferentes velocidades del tambor, la relación entre presión/velocidad/asentamiento se pudo utilizar para predecir el asentamiento de toda la flota. Esta relación se denominó “curva de asentamiento”.

Como se ilustra en la Figura 1, la velocidad promedio del tambor y las presiones hidráulicas se registran durante una prueba de escalera en cada uno de los tres “aumentos” en la velocidad del tambor (como se muestra a las horas 13:55, 14:00 y 14:02 en la Figura 1). Aproximadamente a las 14:07 se extrae una muestra del tambor y la presión pasa a “0”. Posteriormente, se ajustó el asentamiento como se ve por el asentamiento de presión (a las 14:10) para que el proceso de cambio de velocidad del tambor pudiera repetirse para generar los datos de curva de asentamiento.

Sin embargo, posteriormente se comprendió que se necesitaba una gran cantidad de relaciones para que el sistema pudiera monitorizar con precisión todas las velocidades de giro de tambor en los diseños de mezcla y flotas de tipos de camiones de entrega de un productor de hormigón premezclado. También se advirtió que cada tipo de camión y fabricante de camiones tenía propiedades únicas que afectaban la generación de datos de curva de asentamiento, y dichos factores a menudo hacían que se ejecutaran tres veces más pruebas de escalera de asentamiento para la flota de un determinado productor de hormigón.

La Figura 2 muestra los resultados de múltiples curvas de asentamiento derivadas de múltiples pruebas de escalera. Como se puede observar en la Figura 2, se observó que un asentamiento de 10 cm (4 pulgadas) a una velocidad de giro del tambor constante correspondía a un rango de presiones hidráulicas de 10300 a 13800 kPa (1500 a 2000 libras por pulgada (psi)). Esto significa que una lectura de 10300 kPa (1500 psi) podría corresponder a un asentamiento de 8,89 a 17,8 cm (3,5 a 7 pulgadas). Estas posibles correlaciones eran inaceptables con la finalidad de una medición de asentamiento precisa; y, por tanto, fue necesario generar múltiples curvas de asentamiento. Se comprendió que la viscosidad era fundamental para la generación de datos de curva de asentamiento, y esto requería la creación de múltiples curvas para un solo productor de hormigón.

Los intentos iniciales de resolver esta complejidad incluyeron el agrupamiento de las mezclas de hormigón en categorías de mezclas o familias de mezclas similares de manera prescriptiva, es decir, considerando contenidos de cemento, agua/cemento o paquetes de agregados similares. Como no había una manera fácil de medir la viscosidad de una mezcla dada sin pruebas de campo adicionales, se asumió que las mezclas con componentes similares tendrían curvas de viscosidad y asentamiento similares.

En otras palabras, la aparente necesidad de realizar pruebas de escalera implicaba un proceso largo y arduo, que requería gastos en términos de compras de hormigón y tiempo de prueba en términos de semanas, si no meses, para establecer escaleras de asentamiento manualmente usando conos de asentamiento. La Figura 3 ilustra el número explosivo de curva de asentamiento que en un momento dado fue necesario generar para un solo productor de hormigón. A esta complejidad de pruebas de escalera se sumaron varias dificultades. Una dificultad fue el hecho de que el método de agrupación prescriptivo tendía a ser inexacto a velocidades de tambor más altas, ya que el efecto de la viscosidad podía ser sorprendentemente diferente dentro de un grupo de diseños de mezcla. Esto fue particularmente cierto con relaciones agua/cemento más bajas y en mezclas con mayor contenido de cemento, el comportamiento de la curva de asentamiento sería más pronunciado, requiriendo por tanto pruebas manuales del cono de asentamiento para ciertos diseños de mezcla para que el sistema de monitorización fuera preciso. Por último, los datos de curva de asentamiento del productor de hormigón nunca se actualizaron; esto se convirtió en un problema ya que los materiales de los componentes cambiaron (sin previo aviso) y afectaron al rendimiento del hormigón.

El comienzo del cambio para los inventores actuales comenzó con la comprensión de que las pruebas manuales de escalera podían reemplazarse mediante el uso de técnicas de calibración de monitorización que involucraban datos de velocidad de “salto” del tambor mezclador montado en el camión que se asimilaban selectivamente a partir de entregas anteriores. Tregger y Roberts y col. enseñaron un proceso y método para la calibración de un sistema de monitorización basado en un vehículo de entrega de hormigón automatizado en el documento PCT/US2015/064.257 (publicado como la publicación Internacional n.º WO 2017/09.711 A1). Estos inventores se dieron cuenta de que las velocidades del tambor cambian constantemente durante la entrega en un amplio rango de velocidades del tambor, y que en múltiples momentos la velocidad cambia en más de 4 rpm (de ahí los “saltos”) en cualquier dirección (en modo de mezcla o descarga) y que la presión o fuerza correspondiente al movimiento del tambor seguía el ejemplo de esos saltos. También se dieron cuenta de que este cambio se produjo en menos de cinco segundos y que el asentamiento real del hormigón permaneció igual durante esos cinco segundos. Al medir la presión y la velocidad antes y después de un salto de velocidad, y asumiendo que el asentamiento era el mismo antes y después del salto de velocidad, entonces la relación entre Asentamiento₁ como una función de (Velocidad₁, Presión₁) y Asentamiento₂ como una

función de (Velocidad2, Presión2), donde Asentamiento1 = Asentamiento2, significaría que hay una relación funcional, $F(\text{Velocidad1}, \text{Presión1}) = F(\text{Velocidad2}, \text{Presión2})$, de modo que si uno conociera el asentamiento en Asentamiento1 o Asentamiento2, entonces las escaleras de asentamiento podrían reemplazarse mediante el uso de datos de sensores recopilados pasivamente. Para determinar cualquiera de los asentamientos, se sugirieron uno de dos métodos. Ambos métodos se basaban en relaciones entre el asentamiento y la presión que podrían aplicarse a casi todos los diseños de mezcla dentro del catálogo de un productor de hormigón. El primer método aprovechó que a baja velocidad (por ejemplo, por debajo de 3 rpm) se podía suponer que una o dos relaciones entre presión y asentamiento cubrían todos los diseños de mezcla de un productor de hormigón. El segundo método implicó una o dos relaciones entre el asentamiento y la pendiente y la intersección de un gráfico de presión y velocidad de giro del tambor para cubrir todos los diseños de mezcla del productor de hormigón.

La Figura 4 ilustra una entrega de hormigón convencional desde la “perspectiva” de los sensores de presión y velocidad del tambor desde los cuales se pueden utilizar tres datos de velocidad de salto para establecer curvas de asentamiento que reemplazan las escaleras de asentamiento obtenidas manualmente. En la Figura 4, la línea azul sólida (asociada al eje vertical izquierdo) ilustra la medición de la presión hidráulica, mientras que la línea naranja punteada (asociada al eje vertical derecho) ilustra la velocidad del tambor, ambas medidas frente al tiempo (eje horizontal). Después de la carga, la velocidad del tambor del camión salta (aproximadamente a las 20:25) para realizar una mezcla de alta velocidad (16-17 rpm). Luego, la velocidad del tambor vuelve a disminuir y después de eso, el camión se desplaza al lugar de trabajo usando velocidades de tambor en tránsito (2 a 4 rpm). Al llegar al sitio (aproximadamente a las 20:52), y justo antes de la descarga, la velocidad del tambor aumenta a altas velocidades de agitación (~15-17 rpm) y posteriormente disminuye antes de la descarga. Esto demuestra cómo se pueden recopilar puntos de datos de velocidad de salto tanto para velocidades/presiones altas como bajas para el mismo asentamiento del hormigón.

D. Emparejamiento de datos de curva de asentamiento conglomerados con resistencia asignada

Si bien lo anterior ilustra el proceso para comenzar a construir la relación entre la presión, la velocidad del tambor y el asentamiento, esto no necesariamente se relaciona con la resistencia. Para comenzar, al recopilar grandes conjuntos de datos de curva de asentamiento obtenidos de miles de entregas de hormigón, que involucraron diferentes tipos de mezclas de hormigón y camiones de entrega, y al examinarlos en diferentes rangos de velocidad constante, los presentes inventores descubrieron que ciertos diseños diferentes de mezclas de hormigón pueden demostrar el mismo comportamiento de curva de asentamiento. En otras palabras, los inventores descubrieron que los datos de curva de asentamiento para diferentes diseños de mezcla (es decir, que tienen diferentes códigos de mezcla) coincidían o se “conglomeraban” en torno a la misma forma o líneas de curva de datos; los datos de curva de asentamiento se agrupan basándose en el rendimiento (reología), no de una medida prescriptiva (es decir, contenido de cemento, agua/cemento, etc.). Nuevamente, el término “conglomeración” o “conglomerado” u otra variante del mismo, tal como se usa en el presente documento, significa y se refiere al acto de cotejar o compilar diseños de mezclas (tal como se identifican mediante un código de mezcla) que tienen el mismo comportamiento de movimiento del concreto. Por lo tanto, la palabra conglomeración tiene un sentido tanto pasivo como activo. Estos diseños de mezclas conglomerados se pueden ordenar después según un valor de resistencia asignada.

La Figura 5 ilustra gráficamente las relaciones entre la presión hidráulica y el asentamiento a una velocidad del tambor y, a primera vista, parece presentar cuatro curvas distintas, mientras que la Figura 6 ilustra gráficamente que el conjunto de datos, usando diferentes colores, corresponde en realidad a seis diseños de mezclas de hormigón diferentes (es decir, diseños de mezclas que tienen códigos diferentes y posiblemente recetas diferentes o similares o iguales). La curva más inferior está compuesta por marcas moradas y verdes (x y o); la línea verde que se muestra a través de esta curva inferior representa la ecuación generada por esos datos. Esto significa que se puede utilizar la misma ecuación o curva de datos para predecir el asentamiento de ambos diseños de mezcla. Esto también significa que los hormigones elaborados a partir de los dos diseños de mezcla se mueven de la misma manera (es decir, conglomeración basada en el rendimiento frente a prescriptiva).

Los presentes inventores han descubierto sorprendentemente que dos o más diseños de mezcla podrían tener la misma curva y, por ende, lo que denominan un “conglomerado” de datos de curva de asentamiento que aparecen esencialmente como un fenómeno de curva única. A partir de la coincidencia de los dos diseños de mezcla ilustrados en la Figura 6, los presentes inventores se dieron cuenta de que se puede utilizar un algoritmo de conglomeración que tenga en cuenta el tipo de camión y el diseño de mezcla para conglomerar las mezclas en una curva de asentamiento si se determina que los diseños de mezcla se mueven de la misma manera. El campo matemático del análisis de conglomerados es un campo amplio y activo que incluye más de cien algoritmos de conglomeración publicados. Por tanto, se pueden emplear numerosos métodos matemáticos para obtener curvas de asentamiento que sean similares entre sí. Ejemplos de algoritmos de conglomeración son los modelos de centroide, como el algoritmo de medias de k; modelos de distribución como el algoritmo de maximización de expectativas; modelos de densidad como el algoritmo DBSCAN; modelos neuronales, como el algoritmo de mapa autoorganizado, e incluso modelos de conglomeración suave, como los modelos de conglomeración difusa, que determinan cómo los objetos pertenecen a un conglomerado según su “grado” de ajuste. A modo de ejemplo, se pueden conglomerar dos conjuntos de datos de curva de asentamiento si la curva de asentamiento resultante determinada a partir de cada uno de los conjuntos de datos

predice valores de asentamiento suficientemente cercanos entre sí (por ejemplo, las predicciones están a 1,3 cm (½ pulgada) entre sí).

La presente invención se basa en la capacidad de “conglomerar” datos de curva de asentamiento, es decir, cuando se descubre que dos o más (y preferiblemente una pluralidad) diseños de mezclas de hormigón se mueven de manera similar o, en otras palabras, poseen la misma relación energía (por ejemplo, presión)/velocidad/asentamiento. Como se muestra en la Figura 6, los dos diseños de mezcla individuales (es decir, que tienen diferentes códigos de mezcla) se conglomeran a lo largo de la misma curva. Se puede ver evidencia de numerosas instancias de conglomerados dentro del catálogo de diseños de mezclas de un productor de hormigón en donde los diseños de mezclas que tienen diferentes códigos de mezcla tienen la misma huella reológica. Por ejemplo, un catálogo de diseños de mezcla que contiene 1000 códigos de mezcla se puede reducir mediante análisis de conglomerados a 20 curvas de datos de asentamiento características. Sorprendentemente, muchos diseños que no tienen los mismos componentes o receta pueden compartir la misma curva de asentamiento y, por lo tanto, pueden encontrarse dentro del mismo conglomerado de puntos de datos de curva (por ejemplo, como se puede apreciar visualmente cuando los datos se muestran en un gráfico).

Esta capacidad de clasificar cómo se mueve el hormigón permite a los presentes inventores alinear esa clasificación con otra caracterización, a saber, el valor de resistencia que ha sido asignado por el productor de hormigón al diseño de mezcla de hormigón (en adelante la “resistencia asignada”). Los presentes inventores creen que esto permitirá a los productores de hormigón reducir el tamaño del catálogo de mezclas, crear una lista de mezclas preferidas y mejorar el control de calidad. Si se descubre que las mezclas de hormigón se mueven de la misma manera y tienen la misma resistencia, no hay razón para tener múltiples diseños de mezcla. Cuanto menor sea el número de mezclas, mayor será el volumen de datos de curva de asentamiento generados para el diseño de mezcla particular y, por ende, el volumen de resultados de pruebas de resistencia (por ejemplo, prueba de cilindro, prueba de cubo); y esto proporcionaría una mayor cantidad de control de calidad o precisión en las predicciones de la curva de asentamiento, por ejemplo, que podría realizar la unidad procesadora del sistema de monitorización.

La Figura 7 es un diagrama de flujo que muestra un proceso ilustrativo de la presente invención. En el bloque 2, se proporciona un catálogo de diseños de mezclas (o una parte, por ejemplo, todas las mezclas residenciales) que incluye diseños de mezclas con un código de mezcla; resistencias asignadas (por ejemplo, resistencias de diseño determinadas usando ACI 211.4-91 y ACI 318-14); y datos de curva de asentamiento. Los datos de curva de asentamiento pueden ser cualquier dato utilizado para predecir la reología (es decir, el asentamiento) basándose en el movimiento detectado en el tambor mezclador de hormigón giratorio. Por ejemplo, los datos de curva de asentamiento pueden comprender eventos de velocidad de salto que incluyen la velocidad de giro del tambor y las lecturas de presión hidráulica correspondientes antes y después del evento.

En el bloque 4, se preparan los datos de curva de asentamiento para el análisis de conglomerados. Por ejemplo, con los datos de velocidad de salto, cada evento de velocidad de salto se puede trazar en un gráfico x-y, donde la velocidad de giro del tambor se traza en el eje x y la presión hidráulica se traza en el eje y. Para cada evento de velocidad de salto, se puede dibujar una línea a través de los dos puntos (que representan la velocidad de giro del tambor y la presión antes y después de la velocidad del salto), y se pueden calcular la pendiente y la intersección.

Una vez calculados estos valores, se pueden graficar en el espacio pendiente-intersección, donde la intersección se grafica en el eje x y la pendiente se grafica en el eje y (o viceversa), como se muestra en el bloque 6. Una vez definido este espacio y completado con los datos, se puede utilizar un algoritmo de conglomeración para determinar conglomerados dentro del espacio. El algoritmo de conglomeración puede basarse en cualquiera de varios métodos de conglomeración diferentes. Por ejemplo, se puede utilizar un algoritmo de aprendizaje automático no supervisado, como un algoritmo de medias k (véase, por ejemplo, Hartigan, J. A.; Wong, M. A. (1979). “Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm”. Revista de la Royal Statistical Society. Serie C (Estadística Aplicada). 28 (1): 100-108). Una vez formados los conglomerados, se pueden crear relaciones de curva de asentamiento para cada conglomerado y, posteriormente, se puede determinar la precisión de la predicción de cada relación de curva de asentamiento. Si la precisión no es suficiente (por encima de una precisión predefinida, por ejemplo, el 90 % de la predicción se realiza con 1,3 cm (0,5 pulgadas) del asentamiento real), el análisis de conglomerados se puede refinar, por ejemplo, para tener conglomerados divididos más finamente).

Como alternativa, los eventos de velocidad de salto se pueden representar gráficamente en un gráfico x-y-z donde, por ejemplo, la velocidad de giro del tambor se representa gráficamente en el eje x, la presión hidráulica se representa gráficamente en el eje y, y el asentamiento se representa gráficamente en el eje z. Luego se puede realizar un análisis de conglomerados en este espacio “EVS” para determinar los conglomerados de datos de curva de asentamiento.

En el bloque 8, una vez que los conglomerados de curva de asentamiento se han discernido o identificado suficientemente, se puede asignar un código de identificación o una etiqueta con nombre al conglomerado para facilitar la agrupación posterior.

En el bloque 10, las resistencias asignadas se agrupan en clases predefinidas, por ejemplo, las resistencias entre 20691 y 27579 kPa (3001 y 4000 psi) se colocan en una clase; las resistencias entre 27586 y 34474 kPa (4001 y

5000 psi) se colocan en otra clase. Más preferiblemente, se pueden usar subdivisiones más pequeñas y, desde una perspectiva práctica, las clases se asignan por el mínimo del rango, no por el promedio. Esto imparte una perspectiva conservadora sobre los datos.

En el bloque 12, se puede elegir un diseño de mezcla dentro del mismo ID de conglomerado de curva de asentamiento y una clase de resistencia asignada, basándose en un coste, rendimiento u otra característica, por ejemplo, el coste más bajo. Este proceso se puede lograr de varias maneras diferentes. En primer lugar, usando una característica de selección fija (o un grupo de características de selección), todos los grupos de diseño de mezcla con el mismo conjunto de curva de asentamiento y clase de resistencia se pueden reducir al número mínimo de diseños de mezcla que aún incluyan la característica de selección dada. Por ejemplo, dentro del mismo conglomerado de curva de asentamiento y clase de resistencia, solo se puede conservar la mezcla de menor coste para la selección por lote, cuando se necesita un diseño de mezcla que requiera la reología del conglomerado de curva de asentamiento y clase de resistencia determinadas. Como otro ejemplo, las mezclas con el mayor volumen de entregas se pueden mantener tanto para una versión con aire incorporado como para una versión sin aire incorporado. Los diseños de mezcla que no se conservan en estos dos ejemplos pueden, por ejemplo, excluirse de una mayor consideración, archivarse o eliminarse del catálogo de diseños de mezcla. Alternativamente, los datos asociados (datos de curva de asentamiento, datos de resistencia u otros datos) se pueden fusionar con los diseños de mezcla retenidos. Independientemente del destino de los diseños de mezclas no retenidas, los diseños de mezclas retenidas, con su uso futuro, acumularán datos de control de calidad para un mejor control.

En el bloque 14 se dosifica el diseño de mezcla seleccionado.

La Figura 8 es un histograma bidimensional en donde se monitorizaron 608 diseños de mezclas de hormigón (es decir, 608 códigos diferentes). Se discernieron nueve curvas de asentamiento diferentes entre estos diseños de mezcla para varios valores de resistencia asignada en el rango de 27600 a 83700 kPa (4000 a 12000 psi). El pico más alto, que indica más de 100 diseños de mezclas diferentes (códigos), se puede ver fácilmente para la curva de asentamiento n.º 1 con una resistencia asignada de 48000 kPa (7000 psi), y esto representa visualmente una curva de asentamiento con mucha densidad de datos.

La Figura 9 es una representación bidimensional del histograma de la Figura 7, que indica que 608 diseños de mezclas de hormigón representan en realidad sólo 37 grupos de curva de asentamiento y resistencia diferentes.

Como ventaja adicional de la presente invención, se pueden adaptar nuevas mezclas a una aplicación determinada con mucha mayor confianza. Normalmente, se realizan pruebas de laboratorio para validar un diseño. Sin embargo, este método puede no representar el rendimiento real, ya que mezclar en un mezclador de laboratorio pequeño no representa la mezcla real experimentada en un camión mezclador. Sin embargo, al interpolar entre diseños de mezclas existentes con sus datos asociados (es decir, resistencia y reología), se pueden desarrollar diseños de mezclas con características precisas de resistencia y reología (más allá de un simple valor de asentamiento). Además, la cantidad de datos asociados proporciona una validación realista en comparación con las pruebas de laboratorio. Estos datos pueden ser extremadamente útiles como datos de respaldo para las presentaciones para un trabajo determinado.

En una primera realización de ejemplo, la presente invención proporciona un proceso implementado por ordenador para gestionar una pluralidad de diseños de mezcla dentro del catálogo de diseños de mezcla de un productor de hormigón, que comprende: recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, en donde cada diseño de mezcla se identifica mediante un código de identificación diferente independientemente de si los componentes de mezcla son diferentes o idénticos; conglomerar datos de curva de asentamiento que tengan las mismas características de movimiento en al menos dos conglomerados de datos de curva de asentamiento; asociar cada diseño de mezcla dentro del conglomerado de datos de curva de asentamiento a un valor de resistencia asignada; y seleccionar un diseño de mezcla para producir de entre dos o más diseños de mezcla individuales dentro del mismo conglomerado de datos de curva de asentamiento, basándose la selección en el mismo valor de resistencia asignada y en al menos un factor de selección elegido entre coste, rendimiento, aspecto físico, calidad o combinación de los mismos, en donde en la etapa de selección, el diseño de mezcla de hormigón se selecciona de un conglomerado de datos de curva de asentamiento para una resistencia asignada mediante la operación de un procesador informático, estando el procesador informático programado para seleccionar el diseño de mezcla de hormigón e instruir que se genere una mezcla de hormigón según el diseño de mezcla seleccionado, y estando el procesador informático programado para iniciar esta función sin más entradas por parte de un operador humano.

En una segunda realización ilustrativa, que puede basarse en la primera realización ilustrativa, la invención proporciona un proceso en donde, al seleccionar el diseño de mezcla, el al menos un factor de selección se elige entre (a) el coste del material del diseño de mezcla; (b) el coste de material de cualquiera de los componentes de mezcla; (c) número de entregas anteriores; (d) volumen total entregado de un diseño de mezcla de hormigón particular; (e) número de resultados de pruebas de resistencia disponibles; (f) estados de aprobación presentados; (g) fuente de los materiales usados en la mezcla de hormigón; (h) una característica o propiedad de un material de agregado usado en el diseño de mezcla (por ejemplo, naturaleza mineralógica del agregado, forma o tamaño del agregado, como tamaño máximo de partícula, fracción de espaciado, etc.); (i) una característica o propiedad de hidratación del cemento usado

en el diseño de mezcla (por ejemplo, relación agua/cemento, tiempo de fraguado inicial, tiempo de fraguado final, etc.); (j) una característica o propiedad de la densidad de empaquetado dentro de la mezcla de hormigón; (k) una característica o propiedad de la durabilidad o naturaleza reactiva de la mezcla de hormigón (por ejemplo, permeabilidad al cloruro, susceptibilidad a la reacción álcali-sílice); (l) una característica o propiedad de la colocación de la mezcla de hormigón; (m) aditivo químico usado en la mezcla de hormigón (por ejemplo, tipo de aditivo, naturaleza del efecto reductor de agua de alto rango, aceleradores, retardadores, efecto de las combinaciones de aditivos, etc.); (n) característica del aire del hormigón (por ejemplo, contenido de aire, distribución del aire, factor de espaciamiento del aire, etc.); (o) diámetro de la manguera o tubería usada para transportar el hormigón desde el camión de reparto, mezclador o bomba hasta el sitio de colocación real en el lugar de construcción; o (p) una combinación de cualquiera de los factores anteriores.

En una tercera realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a segunda realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde el conglomerado comprende conjuntos de datos de curva de asentamiento asociados con diferentes diseños de mezcla mediante los cuales las predicciones de asentamiento a partir de las relaciones de predicción de asentamiento derivadas de cada dato de curva de asentamiento individual están dentro de una tolerancia predefinida (por ejemplo, asentamiento de $\pm 1,3$ cm (0,5 pulgadas)).

En una cuarta realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a tercera realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde, al recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, los datos de curva de asentamiento se derivan de los datos de velocidad de salto en donde el asentamiento, la velocidad de giro del tambor y la fuerza asociada con el giro de la mezcla de hormigón en un tambor mezclador giratorio se obtienen antes y después de los saltos en la velocidad del tambor, en donde el salto en la velocidad del tambor es de al menos tres (y más preferiblemente al menos cuatro) revoluciones del tambor por minuto de diferencia. Estos factores (por ejemplo, asentamiento, velocidad de giro del tambor y fuerza asociada con el giro de la mezcla de hormigón en un tambor mezclador giratorio) se pueden guardar en una base de datos accesible por ordenador como relaciones conglomeradas. Se pueden representar gráficamente (y, por tanto, se describen aquí en términos de “datos de curva de asentamiento”) y mostrar de varias maneras. Los datos de curva de asentamiento se pueden definir en términos de fuerza (por ejemplo, lecturas del sensor de presión hidráulica) basándose en la velocidad del tambor (por ejemplo, rotaciones por minuto a una primera velocidad del tambor y a una segunda velocidad del tambor que se modificó repentinamente en al menos 3 o 4 RPM en comparación con la primera velocidad del tambor). Los datos que comprenden las intersecciones en y (es decir, el valor de presión cuando la velocidad se extrapola a cero) y la pendiente (de los valores de presión en los dos valores de velocidad del tambor) pueden someterse a un análisis de conglomerados para discernir diseños de mezcla que tengan un comportamiento reológico común (como puede sugerirse mediante una nube de puntos trazados en un gráfico que sugiera una tendencia común o una agrupación común singular o, en otras palabras, donde los puntos parecen coincidir).

En una quinta realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a cuarta realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde, al recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, las curvas de datos de asentamiento se establecen usando sensores para medir la fuerza asociada con el giro de mezclas de hormigón en un tambor mezclador giratorio, siendo dichos sensores de fuerza elegidos entre un sensor de presión hidráulica, un dispositivo de medición de tensión o deformación ubicado dentro del tambor mezclador giratorio, o ambos.

En una sexta realización de ejemplo, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a quinta realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde, al recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, las curvas de datos de asentamiento se establecen usando sensores de presión hidráulica que comprenden un primer sensor para medir la presión hidráulica cuando el tambor mezclador está girando en la dirección de carga, y un segundo sensor para medir la presión hidráulica cuando el tambor mezclador está girando en la dirección de descarga.

En una séptima realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a sexta realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde, al recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, las curvas de datos de asentamiento se establecen usando un dispositivo de medición de tensión o deformación ubicado en el interior del tambor mezclador.

En una octava realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a séptima realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde, al recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de entrega en tránsito de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, las curvas de datos de asentamiento se establecen usando un sensor de velocidad del tambor que comprende un acelerómetro, un giroscopio o una combinación de los mismos.

En una novena realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a octava realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde, en la etapa de conglomerar datos de curva que tienen las mismas características de movimiento según el valor de resistencia asignada, se usan al menos dos (más preferiblemente al menos tres, y lo más preferiblemente al menos diez) diseños de mezcla diferentes (que se identifican como diferentes por tener códigos diferentes pero tienen los mismos componentes de mezcla) para generar cargas de mezcla de hormigón a partir de las cuales se obtienen datos de curva de asentamiento para definir la misma curva de asentamiento y, por ende, definir un conglomerado de datos de curva de asentamiento.

En una décima realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a novena realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde los valores de resistencia asignada se basan en la resistencia física, el módulo de elasticidad, el contenido de agua, el contenido de cemento, las pruebas de madurez o una combinación de los mismos.

En una undécima realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a décima realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde, al recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de entrega en tránsito de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, los datos de curva de asentamiento establecen al menos tres (y más preferiblemente al menos cinco) conglomerados de datos de curva de asentamiento diferentes; y están correlacionados con al menos tres (y, más preferiblemente, al menos cinco) valores de resistencia asignada.

En una duodécima realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a undécima realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde se selecciona un diseño de mezcla de hormigón a partir de un conglomerado de datos de curva de asentamiento para una resistencia asignada (por ejemplo, valor o número) mediante la operación de un procesador informático, y se genera una mezcla de hormigón. En otro ejemplo de este aspecto particular, el procesador informático ha sido programado para seleccionar el diseño de mezcla de hormigón y para ordenar que se haga una mezcla de hormigón (por ejemplo, enviando una señal a la computadora de dosificación en la planta de dosificación) según el diseño de mezcla seleccionado. Preferiblemente, el procesador informático está programado para iniciar esta función sin necesidad de intervención adicional por parte de un operador o gestor humano.

En una decimotercera realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a duodécima realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde se genera un histograma (véase, por ejemplo, Figura 8) o un gráfico (véase, por ejemplo, Figura 9) para representar gráficamente, en una pantalla de monitor u otra pantalla visual, los conglomerados de datos de curva de asentamiento para cada valor de resistencia asignada.

En una decimocuarta realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a decimotercera realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde el histograma o gráfico que se muestra en una pantalla de monitor es una GUI (interfaz gráfica de usuario) que permite a un usuario hacer clic para ver una lista de códigos de mezcla para un conglomerado dado de datos de curva de asentamiento.

En una decimoquinta realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de la primera a decimocuarta realizaciones de ejemplo anteriores, la invención proporciona un proceso en donde, después de seleccionar un diseño de mezcla para producir, para mostrar, o tanto para producir como para mostrar, de entre los dos o más diseños de mezcla individuales dentro del mismo conglomerado de datos de curva de asentamiento, al menos un diseño de mezcla se elimina del mismo conglomerado de datos de curva de asentamiento. Por ejemplo, uno o más de los factores de selección identificados dentro del segundo aspecto ilustrativo analizado anteriormente pueden usarse para inactivar o eliminar del catálogo del productor aquellos diseños de mezcla que exceden un umbral de coste dado, que emplean un cemento o material agregado dado, o que cumplen con cualquier otro criterio de selección basándose en los factores de selección.

En una decimosexta realización ilustrativa, la invención proporciona un sistema para gestionar una pluralidad de diseños de mezcla dentro del catálogo de diseños de mezcla de un productor de hormigón, que comprende: una pluralidad de camiones de entrega de hormigón premezclado, cada uno de los cuales tiene una primera unidad de procesamiento informático (CPU) en comunicación con un primer sensor o sensores para medir la energía asociada con el giro de una carga de mezcla de hormigón dentro de un tambor mezclador giratorio (por ejemplo, como sensores de presión hidráulica, sensores de tipo galga de tensión o deformación, etc.) y en comunicación con un segundo sensor para medir la velocidad de giro del tambor mezclador (por ejemplo, un acelerómetro), en donde las CPU están programadas para almacenar en una memoria accesible a la CPU una pluralidad de datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de entrega en tránsito de cargas de hormigón individuales fabricadas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla (como se identifica por el número de diseño de mezcla individual o el código de identificación, independientemente de si sus componentes de mezcla son idénticos o diferentes); y una

segunda unidad de procesador informático que está programada (el procesador informático es un chip, circuito, máquina, hardware, etc., ya sea en un camión, en una ubicación remota, por ejemplo, el denominado sistema basado en la nube que no está necesariamente en un camión o en una ubicación del centro de control): (a) para conglomerar los datos de curva de asentamiento que se obtuvieron durante y a partir de la monitorización de entrega en tránsito de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla (identificados por el número de diseño de mezcla individual o el código de identificación, independientemente de si sus componentes de mezcla son idénticos o diferentes) que tienen las mismas características de movimiento en al menos dos conglomerados de datos de curva de asentamiento; (b) para asociar cada diseño de mezcla dentro del conglomerado de datos de curva de asentamiento a un valor de resistencia asignada; y (c) para seleccionar un diseño de mezcla para producir de entre los dos o más diseños de mezcla individuales dentro del mismo conglomerado de datos de curva de asentamiento, basándose la selección en el mismo valor de resistencia asignada y en al menos un factor de selección elegido entre coste, rendimiento, aspecto físico, calidad o cualquier combinación de los mismos (por ejemplo, coste de los componentes de mezcla o de la mezcla general, tipo de cemento, tipo de agregado, tipo de aditivo, agua/cemento y numerosos otros posibles factores de selección), en donde el segundo procesador informático está programado para seleccionar el diseño de mezcla e instruir que se genere una mezcla de hormigón según el diseño de mezcla seleccionado, y el segundo procesador informático está programado para iniciar esta función sin más entradas por parte de un operador humano.

En una decimoséptima realización ilustrativa, que es como se ha descrito anteriormente con respecto a la decimosexta realización de ejemplo descrita anteriormente, la invención proporciona un sistema en donde, al seleccionar el diseño de mezcla, el al menos un factor de selección se elige entre (a) el coste del material del diseño de mezcla; (b) el coste de material de cualquiera de los componentes de mezcla; (c) número de entregas anteriores; (d) volumen total entregado de un diseño de mezcla de hormigón particular; (e) número de resultados de pruebas de resistencia disponibles; (f) estados de aprobación presentados; (g) fuente de los materiales usados en la mezcla de hormigón; (h) una característica o propiedad de un material de agregado usado en el diseño de mezcla (por ejemplo, naturaleza mineralógica del agregado, forma o tamaño del agregado, como tamaño máximo de partícula, fracción de espaciado, etc.); (i) una característica o propiedad de hidratación del cemento usado en el diseño de mezcla (por ejemplo, relación agua/cemento, tiempo de fraguado inicial, tiempo de fraguado final, etc.); (j) una característica o propiedad de la densidad de empaquetado dentro de la mezcla de hormigón; (k) una característica o propiedad de la durabilidad o naturaleza reactiva de la mezcla de hormigón (por ejemplo, permeabilidad al cloruro, susceptibilidad a la reacción álcali-sílice); (l) una característica o propiedad de la colocación de la mezcla de hormigón; (m) aditivo químico usado en la mezcla de hormigón (por ejemplo, tipo de aditivo, naturaleza del efecto reductor de agua de alto rango, aceleradores, retardadores, efecto de las combinaciones de aditivos, etc.); (n) característica del aire del hormigón (por ejemplo, contenido de aire, distribución del aire, factor de espaciado del aire, etc.); (o) diámetro de la manguera o tubería usada para transportar el hormigón desde el camión de reparto, mezclador o bomba hasta el sitio de colocación real en el lugar de construcción; o (p) una combinación de cualquiera de los factores anteriores.

Otro aspecto es un proceso para crear un nuevo diseño de mezcla de hormigón, que comprende: recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla de hormigón, en donde cada diseño de mezcla de hormigón corresponde a un código de identificación diferente independientemente de si los componentes de mezcla son diferentes o idénticos; conglomerar datos de curva de asentamiento que tengan las mismas características de movimiento en al menos dos conglomerados de datos de curva de asentamiento; asociar cada diseño de mezcla dentro del conglomerado de datos de curva de asentamiento a un valor de resistencia asignada; introducir una resistencia y reología objetivos; interpolar los componentes de diseño de mezcla basándose en al menos dos diseños de mezcla existentes en donde se satisfacen los objetivos de resistencia y reología; y crear un nuevo diseño de mezcla para producir, para exhibir, o tanto para producir como para exhibir, basándose en los componentes de diseño de mezcla interpolados a partir de al menos dos diseños de mezcla existentes. Este aspecto puede basarse en, o incorporar, cualquiera de las características descritas anteriormente con respecto a la primera a decimoséptima realizaciones de ejemplo.

Aunque la invención se describe en la presente memoria utilizando un número limitado de realizaciones, estas realizaciones específicas no pretenden limitar el alcance de la invención tal como se describe y reivindica en la presente memoria. Existen modificaciones y variaciones de las realizaciones descritas. Más específicamente, los siguientes ejemplos se dan como una ilustración específica de las realizaciones de la invención reivindicada. Debe entenderse que la invención no se limita a los detalles específicos expuestos en los ejemplos. Todas las partes y porcentajes en los ejemplos, así como en el resto de la memoria descriptiva, son en porcentaje en peso seco a menos que se especifique lo contrario.

Ejemplo 1

Como ejemplo de las sorprendentes ventajas y beneficios de la presente invención, los presentes inventores consideraron el catálogo de diseños de mezclas de un productor de hormigón real que contenía 608 diseños de mezclas (identificados por 608 códigos de mezclas diferentes). En realidad, se trataba de un subconjunto de todo el catálogo de mezclas porque estaba limitado a una región determinada, que usaba la misma fuente de agregado. Los diseños de mezcla se filtraron para incluir solo agregados gruesos con un tamaño nominal de 2,5 cm (una pulgada). Este proceso de filtrado puede ocurrir, alternativamente, después de aplicar las etapas inventivas de la Figura 7, al

elegir al menos una mezcla para representar una característica de resistencia y reología dadas. Cuando se organiza por resistencia y reología (relación de asentamiento), el histograma de la Figura 8 muestra los numerosos diseños de mezcla con las mismas propiedades. Después de aplicar las etapas inventivas de la Figura 7, el histograma indica que los diseños de mezcla en los “cubos” o agrupaciones de resistencia y reología que se muestran en la Figura 9 constituyen 37 en total, y esto representa una reducción del 96 % en términos del número total anterior de diseños de mezcla en la colección.

Ejemplo 2

Como segundo ejemplo, el mismo conjunto reducido de diseños de mezcla del primer ejemplo se puede utilizar para determinar un nuevo diseño de mezcla con un conjunto dado de criterios, como una clase de resistencia y una clase de reología.

Como se ilustra en un ejemplo hipotético que se ilustra usando el gráfico bidimensional de la Figura 10 (que se basa en la Figura 8 analizada anteriormente), un productor de hormigón puede querer suministrar un diseño de mezcla con una curva de asentamiento y una resistencia de diseño en el espacio indicado por el cubo o cuadrado designado como “x” en la Figura 10. Como actualmente no existe un diseño de mezcla (para ciertas combinaciones de clases de resistencia y reología), el productor necesitará diseñar una nueva mezcla.

Para diseñar una nueva mezcla (para el segmento “x”), el productor puede recurrir a datos de producción correspondientes a cubos adyacentes, como por ejemplo, usando valores interpolados basándose en cubos adyacentes. Por ejemplo, se puede realizar una interpolación promediando las relaciones de mezcla que pertenecen a los cubos 1a y 1b. En consecuencia, se puede diseñar una nueva mezcla para “x”.

Otros métodos ilustrativos de la invención pueden incluir el promedio de otros diseños de mezclas adyacentes, tales como el promedio de los valores de los cubos de, por ejemplo, $2a + 2b$; $3a + 3b$; $4a + 4b$, o combinaciones de los mismos. Los valores interpolados para un cubo determinado “x” pueden involucrar valores de espacios adyacentes en el catálogo de diseños de mezcla existente, como por ejemplo, de cubos que pueden estar adyacentes horizontal, vertical o diagonalmente (en la representación del gráfico bidimensional proporcionada en la Figura 10).

Una ventaja importante de este método ilustrativo es que se usan datos de producción reales para crear el nuevo diseño de mezcla, a diferencia de pruebas de laboratorio que pueden no reflejar lo que realmente se producirá.

Por tanto, la invención proporciona un proceso ilustrativo para crear un nuevo diseño de mezcla de hormigón, que comprende: recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla de hormigón, en donde cada diseño de mezcla de hormigón corresponde a un código de identificación diferente independientemente de si los componentes de mezcla son diferentes o idénticos; conglomerar datos de curva de asentamiento que tengan las mismas características de movimiento en al menos dos conglomerados de datos de curva de asentamiento; asociar cada diseño de mezcla dentro del conglomerado de datos de curva de asentamiento a un valor de resistencia asignada; introducir una resistencia y reología objetivos; interpolar los componentes de diseño de mezcla basándose en al menos dos diseños de mezcla existentes en donde se satisfacen los objetivos de resistencia y reología; y crear un nuevo diseño de mezcla para producir, para exhibir, o tanto para producir como para exhibir, basándose en los componentes de diseño de mezcla interpolados a partir de al menos dos diseños de mezcla existentes.

La presente invención se describe en el presente documento usando un número limitado de realizaciones ilustrativas que no pretenden limitar el alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso implementado por ordenador para gestionar una pluralidad de diseños de mezcla dentro del catálogo de diseños de mezcla de un productor de hormigón, que comprende:

recopilar (2) datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, **caracterizado por que** cada diseño de mezcla se identifica mediante un código de identificación diferente independientemente de si los componentes de mezcla son diferentes o idénticos, el proceso comprende, además:

conglomerar (6) datos de curva de asentamiento que tengan las mismas características de movimiento en al menos dos conglomerados de datos de curva de asentamiento;

asociar (10) cada diseño de mezcla dentro del conglomerado de datos de curva de asentamiento a un valor de resistencia asignada; y

seleccionar (12) un diseño de mezcla para su producción, de entre dos o más diseños de mezcla individuales dentro del mismo conglomerado de datos de curva de asentamiento, basándose la selección en el mismo valor de resistencia asignada y en al menos un factor de selección elegido entre coste, rendimiento, aspecto físico, calidad o una combinación de los mismos,

en donde en la etapa de selección (12), el diseño de mezcla de hormigón se selecciona de un conglomerado de datos de curva de asentamiento para una resistencia asignada mediante la operación de un procesador informático, estando el procesador informático programado para seleccionar el diseño de mezcla de hormigón e instruir que se genere una mezcla de hormigón según el diseño de mezcla seleccionado, y estando el procesador informático programado para iniciar esta función sin más entradas por parte de un operador humano.

2. El proceso de la reivindicación 1, en donde, al seleccionar el diseño de mezcla, el al menos un factor de selección se elige entre (a) el coste del material del diseño de la mezcla; (b) el coste de material de cualquiera de los componentes de mezcla; (c) número de entregas anteriores; (d) volumen total entregado de un diseño de mezcla de hormigón particular; (e) número de resultados de pruebas de resistencia disponibles; (f) estados de aprobación presentados; (g) fuente de los materiales usados en la mezcla de hormigón; (h) una característica o propiedad de un material agregado usado en el diseño de mezcla; (i) una característica o propiedad de hidratación del cemento usado en el diseño de mezcla; (j) una característica o propiedad de la densidad de empaquetado dentro de la mezcla de hormigón; (k) una característica o propiedad de la durabilidad o naturaleza reactiva de la mezcla de hormigón; (l) una característica o propiedad de la colocación de la mezcla de hormigón; (m) aditivo químico usado en la mezcla de hormigón; (n) característica del aire del hormigón; (o) diámetro de la manguera o tubería usada para transportar el hormigón desde el camión de reparto, mezclador o bomba hasta el sitio de colocación real en el lugar de construcción; o (p) una combinación de cualquiera de los factores anteriores.

3. El proceso de la reivindicación 1, en donde el conglomerado comprende conjuntos de datos de curva de asentamiento asociados con diferentes diseños de mezcla, por lo que las predicciones de asentamiento a partir de las relaciones de predicción de asentamiento derivadas de cada dato de curva de asentamiento individual están dentro de una tolerancia predefinida.

4. El proceso de la reivindicación 1, en donde, al recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, los datos de curva de asentamiento se derivan de los datos de velocidad de salto en donde el asentamiento, la velocidad de giro del tambor y la fuerza asociada con el giro de la mezcla de hormigón en un tambor mezclador giratorio se obtienen antes y después de los saltos en la velocidad del tambor, en donde el salto en la velocidad del tambor es de al menos tres revoluciones del tambor por minuto de diferencia.

5. El proceso de la reivindicación 1, en donde, al recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, las curvas de datos de asentamiento se establecen usando sensores para medir la fuerza asociada con el giro de mezclas de hormigón en un tambor mezclador giratorio, siendo dichos sensores de fuerza elegidos entre un sensor de presión hidráulica, un dispositivo de medición de tensión o deformación ubicado dentro del tambor mezclador giratorio, o ambos.

6. El proceso de la reivindicación 1, en donde, al recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, las curvas de datos de asentamiento se establecen usando sensores de presión hidráulica que comprenden un primer sensor para medir la presión hidráulica cuando el tambor mezclador está girando en la dirección de carga, y un segundo sensor para medir la presión hidráulica cuando el tambor mezclador está girando en la dirección de descarga,

o bien las curvas de datos de asentamiento se establecen usando un dispositivo medidor de tensión o deformación ubicado dentro del tambor mezclador.

7. El proceso de la reivindicación 1, en donde, al recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de entrega en tránsito de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, las curvas de datos de asentamiento se establecen usando un sensor de velocidad del tambor que comprende un acelerómetro, un giroscopio o una combinación de los mismos; y/o en donde, en la etapa de conglomerar datos de curva de asentamiento que tienen las mismas características de movimiento según el valor de resistencia asignada, se usan al menos dos diseños de mezcla diferentes para generar cargas de mezcla de hormigón a partir de las cuales se obtienen datos de curva de asentamiento para definir la misma curva de asentamiento y, por ende, definir un conglomerado de curvas de datos de asentamiento.

8. El proceso de la reivindicación 1, en donde los valores de resistencia asignada se basan en la resistencia física, el módulo de elasticidad, el contenido de agua, el contenido de cemento, las pruebas de madurez o una combinación de los mismos.

9. El proceso de la reivindicación 1, en donde, al recopilar datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de entrega en tránsito de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla, los datos de curva de asentamiento establecen al menos tres conglomerados de datos de curva de asentamiento diferentes; y están correlacionados con al menos tres valores de fuerza asignados.

10. El proceso de la reivindicación 1, en donde se genera un histograma o gráfico para representar gráficamente, en una pantalla de monitor u otra pantalla visual, los conglomerados de curvas de datos de asentamiento para cada valor de resistencia asignada,

en donde opcionalmente el histograma o gráfico mostrado en una pantalla monitor es una GUI (interfaz gráfica de usuario) que permite a un usuario hacer clic para ver una lista de códigos de mezcla para un conglomerado dado de datos de curva de asentamiento.

11. El proceso de la reivindicación 1, en donde, después de seleccionar un diseño de mezcla para producir entre dos o más diseños de mezcla individuales dentro del mismo conglomerado de datos de curva de asentamiento, se elimina al menos un diseño de mezcla del mismo conglomerado de datos de curva de asentamiento.

12. El proceso de la reivindicación 1 que comprende, después de la etapa de selección (12), una etapa adicional de: eliminar de mayor consideración, archivar o borrar del catálogo de diseño de mezcla un diseño de mezcla entre dichos dos o más diseños de mezcla individuales dentro del mismo conglomerado de datos de curva de asentamiento que no fueron seleccionados en la etapa de selección (12).

13. Un sistema de la invención para gestionar una pluralidad de diseños de mezcla dentro del catálogo de diseños de mezcla de un productor de hormigón, que comprende:

una pluralidad de camiones de entrega de hormigón premezclado, cada uno de los cuales tiene una primera unidad de procesador informático (CPU) en comunicación con un primer sensor o sensores para medir la energía asociada con el giro de una carga de mezcla de hormigón dentro de un tambor mezclador giratorio y en comunicación con un segundo sensor para medir la velocidad de giro del tambor mezclador, en donde las CPU están programadas para almacenar en una memoria accesible a la CPU una pluralidad de datos de curva de asentamiento obtenidos durante la monitorización de entrega en tránsito de cargas de hormigón individuales hechas a partir de una pluralidad de varios diseños de mezcla; y

caracterizado por una segunda unidad de procesador informático que está programada

(a) para conglomerar datos de curva de asentamiento que tengan las mismas características de movimiento en al menos dos conglomerados de datos de curva de asentamiento;

(b) para asociar cada diseño de mezcla dentro del conglomerado de datos de curva de asentamiento a un valor de resistencia asignada; y

(c) para seleccionar un diseño de mezcla para su producción, de entre dos o más diseños de mezcla individuales dentro del mismo conglomerado de datos de curva de asentamiento, basándose la selección en el mismo valor de resistencia asignada y en al menos un factor de selección elegido entre coste, rendimiento, aspecto físico, calidad o cualquier combinación de los mismos,

en donde el segundo procesador informático está programado para seleccionar el diseño de mezcla e instruir que se genere una mezcla de concreto según el diseño de mezcla seleccionada, y el segundo procesador informático está programado para iniciar esta función sin más entradas por parte de un operador humano.

- 5 14. El sistema de la reivindicación 13, en donde, al seleccionar el diseño de mezcla, el al menos un factor de selección se elige entre (a) el coste del material del diseño de la mezcla; (b) el coste de material de cualquiera de los componentes de mezcla; (c) número de entregas anteriores; (d) volumen total entregado de un diseño de mezcla de hormigón particular; (e) número de resultados de pruebas de resistencia disponibles; (f) estados de aprobación presentados; (g) fuente de los materiales usados en la mezcla de hormigón; (h) una característica o propiedad de un material agregado usado en el diseño de mezcla; (i) una característica o propiedad de hidratación del cemento usado en el diseño de mezcla; (j) una característica o propiedad de la densidad de empaquetado dentro de la mezcla de hormigón; (k) una característica o propiedad de la durabilidad o naturaleza reactiva de la mezcla de hormigón; (l) una característica o propiedad de la colocación de la mezcla de hormigón; (m) aditivo químico usado en la mezcla de hormigón; (n) característica del aire del hormigón; (o) diámetro de la manguera o tubería usada para transportar el hormigón desde el camión de reparto, mezclador o bomba hasta el sitio de colocación real en el lugar de construcción; o (p) una combinación de cualquiera de los factores anteriores.
- 10
- 15

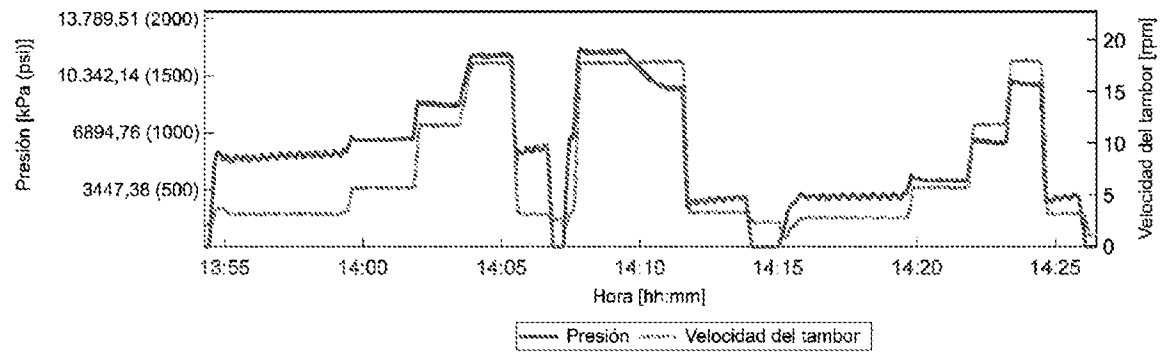


Figura 1

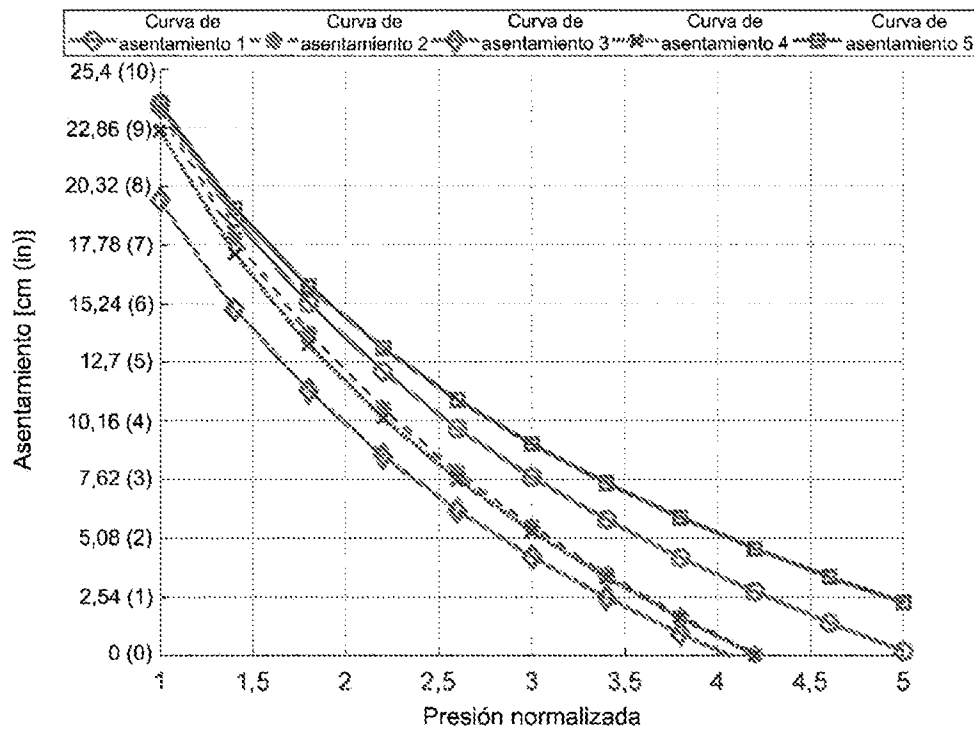


Figura 2

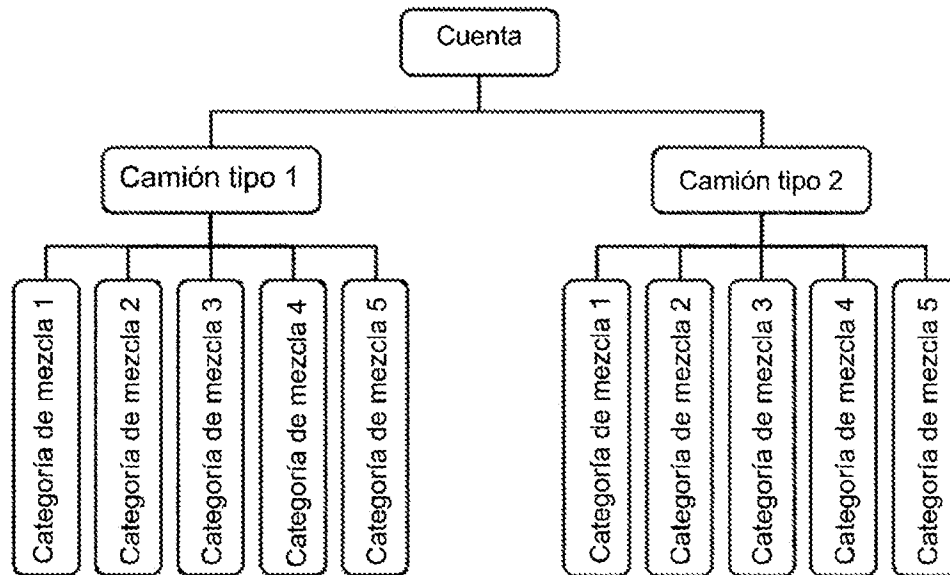


Figura 3

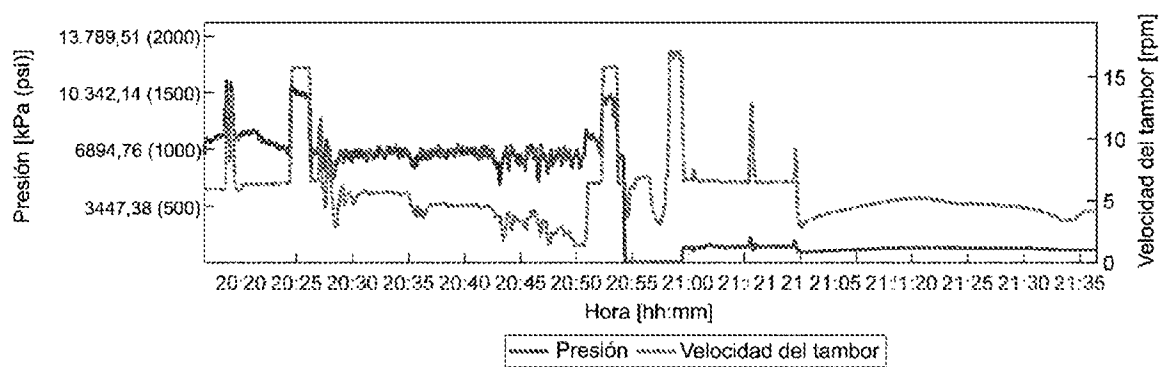


Figura 4

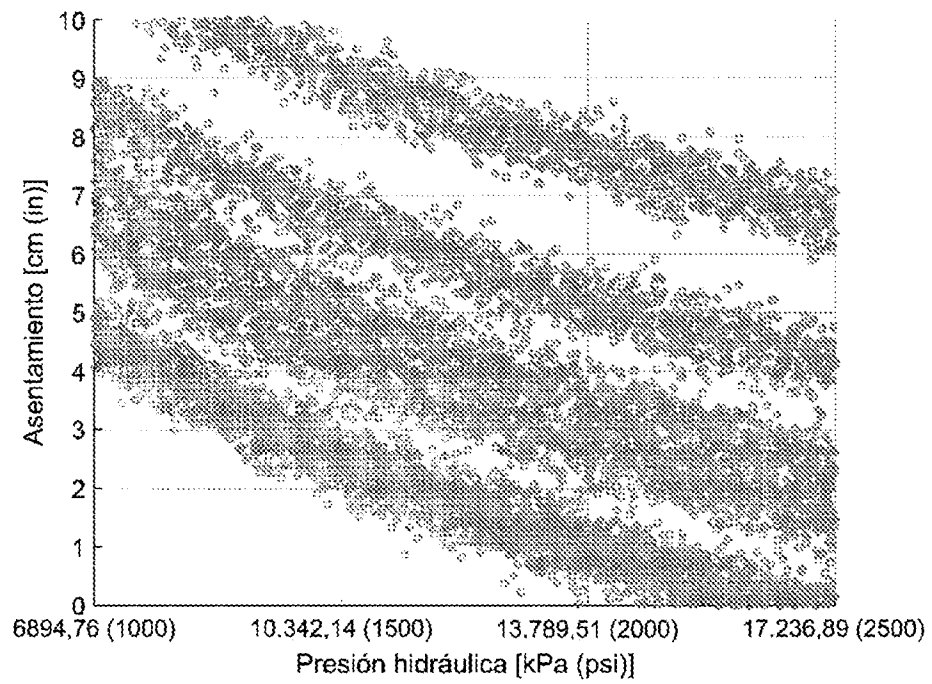


Figura 5

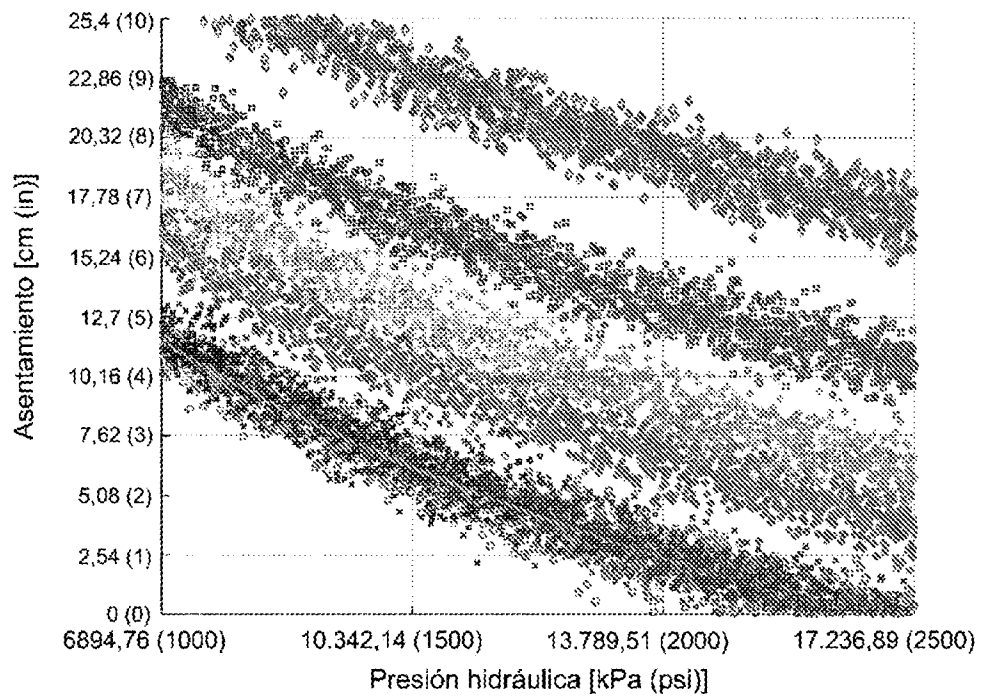
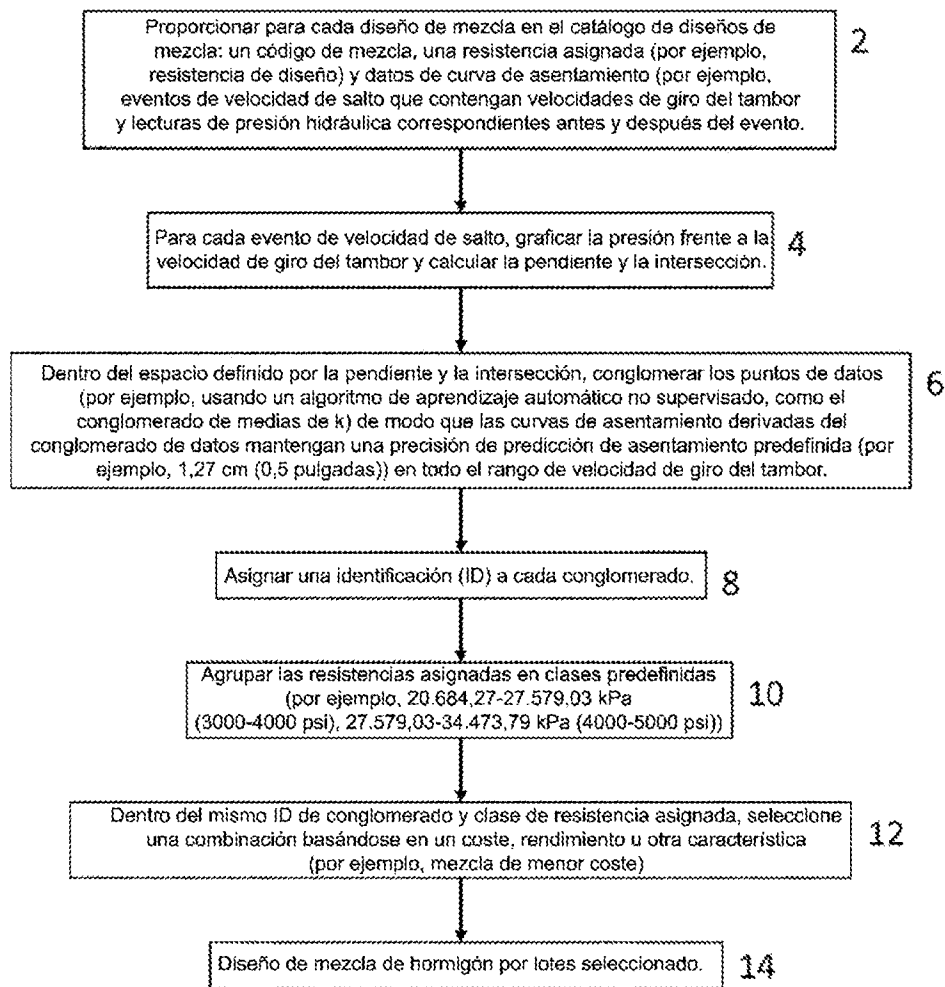


Figura 6

**Figura 7**

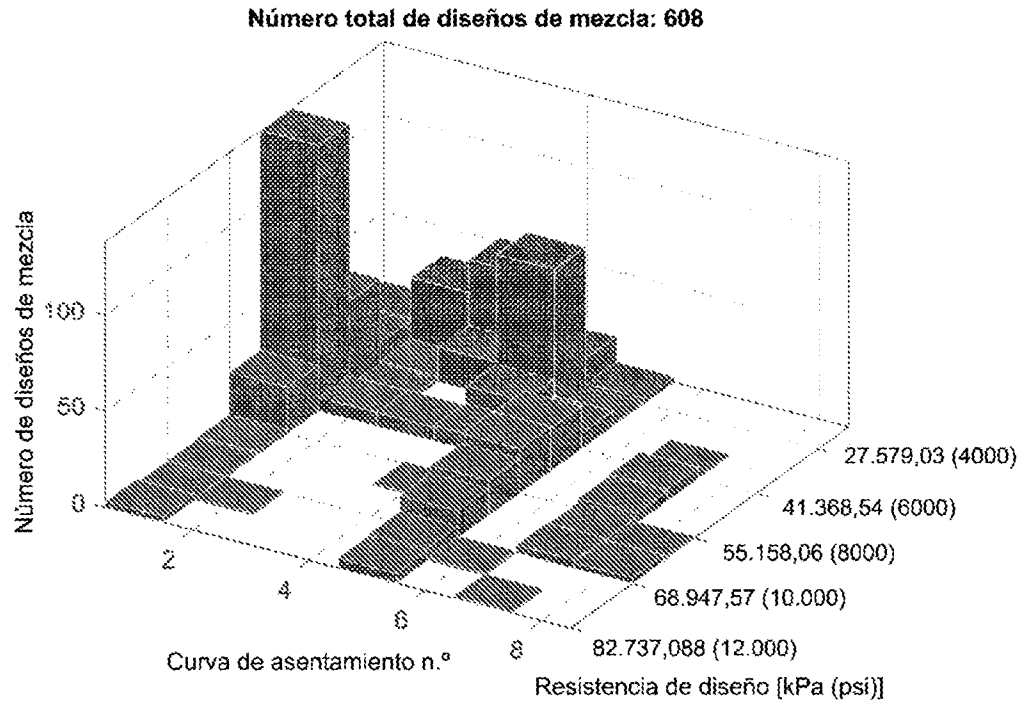


Figura 8

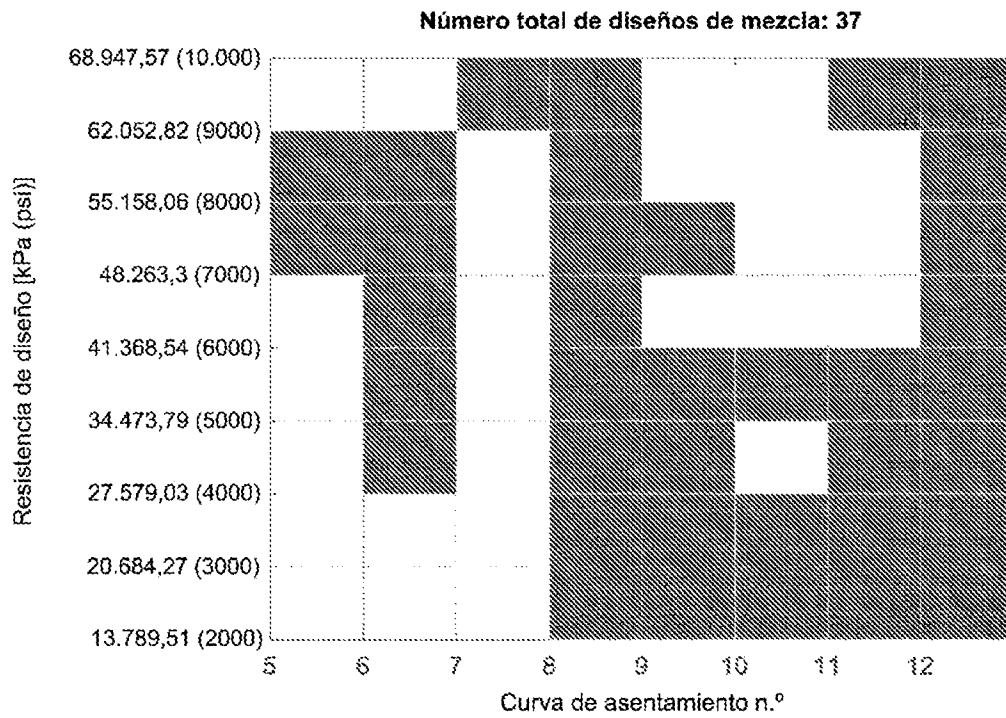


Figura 9

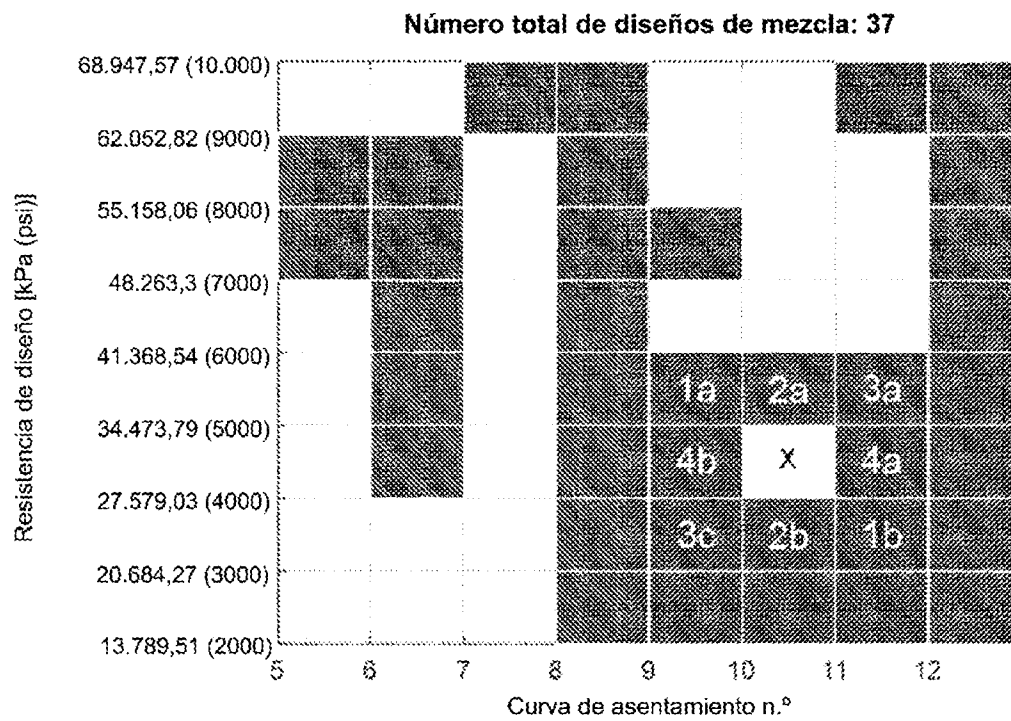


Figura 10