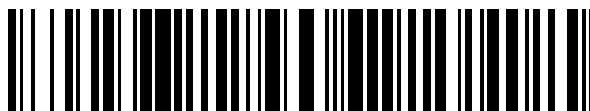


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 795 628**

51 Int. Cl.:

G06Q 10/08 (2012.01)
G06Q 50/02 (2012.01)
G01B 11/24 (2006.01)
G06T 7/60 (2007.01)
G06T 7/62 (2007.01)
G01G 9/00 (2006.01)
G01N 9/00 (2006.01)
G01F 22/00 (2006.01)
G06Q 50/28 (2012.01)
G06Q 99/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.07.2017 PCT/EP2017/067096**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.02.2018 WO18033299**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2017 E 17736945 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 3500986**

54 Título: **Método y sistema para estimar la masa de una reserva**

30 Prioridad:

19.08.2016 GB 201614223

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

24.11.2020

73 Titular/es:

**INTERTEK GROUP PLC (100.0%)
33 Cavendish Square
London, Greater London W1G 0PS, GB**

72 Inventor/es:

FEDORENKO, SERGEI

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 795 628 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

Método y sistema para estimar la masa de una reserva

La invención hace referencia a un método para estimar la masa de una reserva. La invención también hace referencia a un sistema para estimar la masa de una reserva.

- 5 En particular, la invención hace referencia a un método y un sistema para estimar la masa de reservas que contienen material particulado.

Antecedentes de la invención

- Los métodos conocidos para estimar la masa de una reserva pueden ser ejemplificados por los que practica el SGS Group, una empresa que ofrece servicios de medición de reservas (www.SGS.com/mining). A modo de ejemplo, la densidad de una reserva 2 situada en un plano o superficie de la base 4, como se muestra en la Figura 1, se determina mediante (i) la estimación del volumen de una reserva mediante el mapeo de la superficie 6, (ii) la medición de la densidad y (iii) la multiplicación de estos dos valores para estimar la masa. El mapeo de la superficie puede lograrse, por ejemplo, con escáneres láser o tecnología GPS y la densidad puede determinarse a través de una combinación de perforación y/o pesaje de una muestra de volumen conocido. La norma ASTM-6347 utiliza un indicador de densidad de profundidad nuclear, que se calibra para cada material que se mide. Los métodos conocidos utilizan datos de densidad derivados de una muestra o datos de densidad promedio derivados de una serie de mediciones obtenidas a través técnicas de perforación y medición costosas y sofisticadas. El uso de una fuente nuclear para determinar la densidad tiene implicaciones de seguridad y está prohibido en algunos países. Determinadas reservas no pueden medirse de manera fácil o segura mediante perforación, y la perforación requiere el acceso a los puntos más altos de una reserva.

- WO 2015/048123 A1 describe la obtención un perfil de la superficie superior de una reserva y el uso del volumen y la densidad estimados de múltiples capas horizontales de una reserva para calcular la masa de la reserva. US 6 028 270 A hace referencia a otro método no invasivo para determinar el peso de los materiales almacenados mediante la determinación del volumen y la densidad aparente promedio del volumen de los materiales almacenados y el cálculo del peso de los materiales almacenados a partir de ellos. US 2008/156124 A1 hace referencia a métodos para determinar el volumen de materiales a granel para el seguimiento/rastreo y la planificación mejorada de mezclas de materiales a granel granulados y en polvo no líquidos combinados almacenados en silos, otros recipientes grandes y/o en el suelo.

Compendio de la invención

- 30 La invención se define a través de las reivindicaciones independientes 1 y 11.

En términos generales, la invención reside en un método para estimar la masa de material en una reserva mediante la obtención de un perfil de la superficie de dicha reserva para estimar el volumen, la definición de capas en la reserva y la estimación de la densidad de cada capa teniendo en cuenta el peso del material en las capas superiores, sobre la densidad de cada capa. Las capas pueden tener la misma profundidad.

- 35 El perfil de la superficie puede incluir el perfil de la superficie no visible, es decir, la superficie de la reserva que se apoya sobre la base o el recipiente donde se almacena la reserva.

- A partir de un aspecto, la invención reside en un método para estimar la masa de material de una reserva, en donde el método incluye: obtener un perfil de la superficie de dicha reserva; definir una pluralidad de capas en la reserva, en donde cada capa se extiende de manera paralela al perfil de la superficie y estimar el volumen de cada capa; obtener características de densidad del material de la reserva; estimar la densidad de cada capa según las características de densidad del material de la reserva; y calcular, mediante el uso del volumen y la densidad estimados de cada capa, la masa de la reserva. Las capas pueden tener una profundidad constante. Las capas pueden tener la misma profundidad. Una capa adyacente a una base o plano sobre la cual se apoya la reserva puede tener una variación de profundidad. El término capa abarca o el término "banda" o "estrato".

- 45 Las características de densidad pueden obtenerse a partir de una muestra representativa del material de la reserva. Las características pueden almacenarse en una base de datos y recuperarse de ella.

- Los puntos en los que se juntan las capas definen un límite de una capa. Los límites pueden estar desplazados verticalmente entre sí (es decir, uno encima del otro). Un límite puede definir el límite de cada capa. Cada capa, banda o estrato puede tener una profundidad constante y/o aplicar una presión o fuerza uniforme de manera vertical hacia abajo sobre el material que se encuentra debajo.

El perfil de la base, del suelo o de otra superficie sobre la que se encuentra el material de la reserva puede mantenerse, contenerse o medirse mediante el uso de las mismas técnicas que las adoptadas para obtener el perfil de la superficie.

Cada capa que se extiende de manera paralela al perfil de la superficie tiene un límite superior y un límite inferior, en donde dicho límite superior y/o límite inferior se configuran de manera equidistante, en dirección vertical, a partir del perfil de la superficie. El borde de una capa entre el límite superior e inferior (o el límite inferior de la capa más baja) puede definirse con el suelo o la base sobre la que se apoya la reserva. La base puede no estar nivelada.

- 5 El gradiente del cambio de densidad de una capa para la estimación, en dirección vertical, puede ser sustancialmente lineal. Esto sucede típicamente cuando se utilizan capas delgadas, menores que 1 m o menores que 0,5 m. Esto se debe a que, con muchas capas delgadas utilizadas en el análisis, la densidad de una capa relativamente delgada no cambia.

- 10 El gradiente del cambio de densidad de una capa, en dirección vertical, puede ser no lineal. Esto puede producirse si, tal vez, una capa es más espesa y tiene una profundidad mayor que 1 m.

Es posible definir al menos tres capas en la reserva. La profundidad vertical puede encontrarse entre 10 mm y 2 m.

- 15 La obtención de las características de densidad del material de la reserva puede incluir recuperar una muestra representativa de la reserva y medir la densidad de la muestra representativa con cargas simuladas. La obtención de las características de densidad del material de la reserva puede incluir recuperar una muestra representativa de cada carga de material distribuido a la reserva, medir la densidad de cada muestra representativa con cargas simuladas y utilizar un análisis estadístico de las características de cada muestra representativa para estimar las características de densidad de la reserva. Es posible utilizar al menos un promedio, mediana de características de las muestras representativas para justificar las variaciones en el material. Existen muchas técnicas conocidas para obtener y preparar una muestra representativa.

- 20 De manera adicional o alternativa, las características de densidad pueden obtenerse de una base de datos.

La obtención de las características de densidad puede incluir el uso de un análisis de compactación. Las características de densidad pueden obtenerse mediante extrapolación de los valores obtenidos a partir de análisis y/o bases de datos. Una base de datos puede contener características de densidad para múltiples materiales distintos y el cambio de la densidad con distintas presiones o cargas.

- 25 El impacto de la masa sobre la densidad del material de las capas inferiores se ha sugerido de forma lineal con capas de la misma profundidad mediante el uso de la información de análisis realizados con muestras representativas. A la luz de lo indicado en la presente puede comprenderse que es posible utilizar capas de distintas profundidades en función de la precisión requerida y/o del tipo de material.

- 30 La estimación de la densidad de una capa puede incluir estimar la masa de la capa o capas superiores y estimar la densidad de dicha capa en función de la masa estimada que se apoya sobre dicha capa.

- 35 Según otro aspecto, la invención reside en un sistema para estimar la masa de material en una reserva, en donde el sistema incluye: un aparato que funciona para obtener un perfil de la superficie de dicha reserva; y un controlador, configurado para definir múltiples capas en la reserva, en donde cada capa se extiende de manera paralela al perfil de la superficie; obtener las características de densidad del material de la reserva; estimar el volumen de cada capa y la densidad de cada capa según las características de densidad del material de la reserva; y estimar, mediante el uso del volumen y la densidad estimados de cada capa, la masa de la reserva.

- 40 El sistema puede recibir un perfil de la superficie y mapear un límite entre las capas de la reserva. Los límites pueden estar desplazados verticalmente entre sí (es decir, uno encima del otro). Un límite define el límite de cada capa. Cada capa, banda o estrato tiene una profundidad constante y aplica una presión o fuerza uniforme de manera vertical hacia abajo sobre el material que se encuentra debajo.

Según con otro aspecto, la invención reside en un medio informático que almacena uno o más programas, en donde dichos programas tienen instrucciones que, al ser ejecutadas por un dispositivo o sistema electrónico, llevan a cabo un método descrito en la presente.

- 45 La invención puede aplicarse a cualquier material particulado cuya densidad aumentará cuando se comprima o se sometida a una fuerza, que puede deberse al peso del material en sí dentro de una reserva. La invención puede ser particularmente adecuada para minerales u otros materiales inorgánicos de este tipo que forman una reserva. Tales minerales o materiales inorgánicos pueden tener una distribución de densidad uniforme en condiciones normales o sin compresión.

- 50 A la luz de las indicaciones de la invención presente, el experto en la técnica comprenderá que los aspectos de la invención son intercambiables y pueden transferirse entre los aspectos descritos en la presente, y pueden combinarse para proporcionar aspectos mejorados de la invención. Podrán observarse otros aspectos de la invención a partir de la siguiente descripción.

Breve descripción de las Figuras

La Figura 1 ya fue descrita y, con el fin de que la invención pueda entenderse de forma más clara, se hará referencia ahora a las Figuras restantes, a modo de ejemplo, en las cuales:

- 5 las Figuras 2a a 2d son perfiles de corte transversal de las reservas que se apoyan sobre una base, en donde las reservas tienen capas de igual profundidad;
- la Figura 3 es un perfil de corte transversal de una reserva dentro de una base curva, lo que indica la bodega de un buque;
- la Figura 4 es un perfil de corte transversal de una reserva dentro de un recipiente con paredes, tal como un almacén o refugio subterráneo;
- 10 la Figura 5a es una tabla de datos que muestra que la fuerza sobre una capa afecta la densidad, mientras que la Figura 5b representa los datos de la Figura 5a;
- la Figura 6a es una tabla de datos que muestra la masa registrada de una serie de reservas en función de los valores de masa estimados (y reales), mientras que la Figura 6b representa los datos de la Figura 6a; y
- la Figura 7 muestra una muestra representativa junto con el aparato de medición.

15 Descripción detallada de la invención

Es bien sabido que la determinación de la masa de una reserva implica una fórmula simple, a saber, *masa = volumen x densidad*. Las reservas pueden tener un valor comercial significativo y las estimaciones exactas son importantes.

Volúmenes

- 20 Las Figuras 2 a 4 representan reservas individuales 2 que se apoyan sobre una base 4 y tienen una superficie 6. Tanto la superficie 6 como la base 4 pueden medirse con técnicas de barrido conocidas, que son apropiadas para la reserva que se evalúa. A modo de ejemplo, las técnicas de estudio incluyen la obtención de datos a nivel del suelo o mediante fotogrametría. Esto se lleva a cabo normalmente para cumplir con los requisitos de un paquete de software que crea una TIN (red triangular irregular, por sus siglas en inglés). El método prismoidal utiliza un archivo de puntos
- 25 de datos para crear una TIN de la reserva para determinar el volumen. El volumen de material dentro de la TIN se calcula al rellenar electrónicamente el volumen de la TIN por encima del plano con prismas o poliedros de volumen conocido. Después, el software suma la cantidad de poliedros necesarios para rellenar el volumen de la TIN.
- Después de mapear la superficie 6 y obtener un perfil de la superficie de la reserva, se definen las capas 10 en la reserva. Se definen múltiples capas, en donde L1 es la capa más superficial o superior y la numeración de las capas
- 30 aumenta, según la profundidad, hasta la capa Ln, que es la capa más profunda. Las Figuras 2a a 2d muestran reservas con tres, cinco, siete y 14 capas, respectivamente.
- Se comprenderá que las reservas mostradas en las Figuras son cortes transversales de reservas tridimensionales y que cada capa se extiende de manera paralela al perfil de la superficie en tres dimensiones. Las capas tienen una profundidad constante, y se describen en la presente, a modo de ejemplo, como si tuvieran la misma profundidad.
- 35 A modo de ejemplo, un corte transversal de la reserva 2 de la Figura 2a tiene casi 3 m de altura en su punto máximo. Se definen tres capas: L1, L2 y L3. El espesor de cada capa se establece en 1 m. La capa L1 tiene 1 m de profundidad y el límite 12 entre la capa L1 y la capa inmediatamente inferior, L2, se extiende en una dirección sustancialmente paralela a la superficie 2. Dicho de otra forma, el límite 12 entre la capa L1 y la capa L2 tiene un
- 40 perfil sustancialmente idéntico al perfil de la superficie 2. El límite se desplaza de manera vertical y se alinea verticalmente con la superficie. Por lo tanto, la capa L2 está truncada, en parte, con la base o plano 4 en el que se apoya, mediante lo cual se define un borde de la capa. Al margen de la Figura 2a, el límite 12 entre la capa L2 y la capa L3 también tiene un perfil sustancialmente idéntico al perfil de la superficie 2. Debido a que este límite 12 también se desplaza de manera vertical (y también se alinea verticalmente) con respecto a la superficie, la capa L3 está truncada, en parte, con la base o el plano 4 sobre el que se apoya, de manera tal que su altura no puede ser de
- 45 1 m. La altura de la capa más baja puede establecerse a partir del plano 4.
- Una capa L puede truncarse de forma que se divida en dos o más partes. Esto sucede cuando la altura de la superficie 2, y los límites 12 inferiores, ondulan. Si la profundidad de una capa es menor que la diferencia de altura entre un pico y valle en la superficie, entonces aumenta la probabilidad de que una capa L se divida en múltiples partes. La capa L3 de la figura 2a está truncada en dos partes. En la Figura 2b, la capa L4 está truncada en 3
- 50 partes. La capa L5 y la capa L6 de la Figura 2c están truncadas en tres y dos partes, respectivamente. La Figura 2d tiene muchas capas L truncadas o divididas en partes.

Para las estimaciones, sin embargo, el volumen de cada capa L, o partes de una capa L, se estima a partir de los datos de la superficie 2 y los datos de la base 4. Para cada capa, o parte de esta, es posible calcular su profundidad

con respecto a la superficie 2. De esta manera, puede tomarse en cuenta la presión o las fuerzas sobre una capa.

El límite 12 entre cada capa L, en donde no se produce truncamiento, refleja el perfil de la superficie 2. En las Figuras y los ejemplos proporcionados, la profundidad de cada capa es la misma a menos que esté truncada por el plano 4. La profundidad de cada capa es nominalmente 1 m, pero puede ser de hasta 2 m. La reducción de la profundidad de la capa aumenta el número de capas y aumenta la precisión de la estimación de la masa, aunque aumenta también la cantidad de cálculos necesarios. Las capas pueden tener profundidades distintas. La profundidad de las capas puede disminuir en dirección vertical. De esta manera, es posible realizar una estimación más precisa de la masa al aumentar la precisión de la estimación de la masa para capas que están sujetas a una mayor presión o fuerzas, tales como las más cercanas a la base 4. Es posible ajustar el espesor de cada capa y/o si las capas tienen la misma profundidad según el material de la reserva. Esto se debe a que la densidad de los distintos materiales varía de manera distinta bajo presión y/u otras condiciones del entorno.

Se calcula el volumen de cada capa. La suma del volumen de cada capa puede verificarse con respecto al volumen total de la reserva.

Densidad

Para estimar la masa de una reserva, se obtienen características de densidad del material de la reserva. Las características pueden obtenerse de una base de datos si se conoce el material de la reserva y puede utilizarse un conjunto de datos de las características correspondientes a dicho material en las estimaciones de la masa.

De manera adicional o alternativa, es posible tomar una "muestra representativa" del material de la reserva. Las características del material incluyen la densidad del material. Las características pueden incluir una gráfica o tabla que indique el cambio de la densidad con distintas cargas o presiones.

Puede tomarse una única muestra de una reserva y pueden usarse las características de dicha muestra para estimar la masa de la reserva. De manera adicional o alternativa, pueden tomarse muestras representativas de cada lote de material distribuido a la reserva. Pueden tenerse en cuenta las características de cada lote para determinar, estadísticamente, las características representativas de la reserva. A modo de ejemplo, es posible utilizar el promedio de las características de densidad de cada lote.

Densidad - ejemplo

Las características pueden derivarse del análisis de una muestra representativa de material. A modo de ejemplo, se analizó una muestra representativa de una reserva de trigo para determinar sus características. Sin embargo, la invención no se limita al trigo y puede aplicarse a cualquier material particulado cuya densidad aumentará al comprimirse. Por lo tanto, el análisis descrito en la presente puede adaptarse a distintos materiales.

Se tomó una muestra representativa del material y se colocó en una celda cilíndrica de análisis con dimensiones calibradas. Los detalles se muestran en la tabla de la Figura 5a. El volumen de la celda cilíndrica de análisis fue de 3244 cm³ y el área superficial de la huella interna fue de 181 cm². La masa de la muestra de trigo fue 2707,05 g. La altura inicial de la muestra en la celda fue de 179,23 mm (columna D). La densidad inicial se midió como 741,99 kg/m³ (columna F). A los efectos de este ejemplo, la reserva tenía una altura de alrededor de 8 m. La fuente de la muestra a menudo puede afectar la masa estimada de la reserva, ya que pueden producirse variaciones en el material. El ejemplo de la presente utiliza una "muestra representativa".

Capa L1

La muestra representativa se considera indicativa de una muestra tomada de la reserva que se va a evaluar, que puede utilizarse para estimar la masa de toda la reserva. Se colocó una parte de dicha muestra representativa en una celda de análisis. A una profundidad de "0 m" (sin compresión) se midió la densidad mediante el uso de las dimensiones de la celda y el peso de la muestra. La densidad fue 741,99 kg/m³. Suponiendo que la profundidad de cada capa era de 1 m, se estimó que la fuerza aplicada por la capa L1 a las capas inferiores era de 131,69 N (columna G).

A la luz de la invención, existen muchas formas en las cuales puede considerarse el cambio de la densidad del material en una reserva al calcular la masa de cada capa. La forma más sencilla es asumir que la densidad en la superficie es constante a lo largo de la capa, es decir, la densidad en el límite 12 entre la capa L1 y L2 es la misma en la superficie, es decir, 741,99 kg/m³ en la parte inferior de la capa L1. En la invención, sin embargo, se prefiere calcular la masa mediante el uso de un valor de densidad promedio que toma en cuenta la densidad estimada en la superficie y la densidad simulada en cada límite de capa.

La fuerza aplicada por la capa L1 sobre la capa L2 se simuló con una máquina electrónica de análisis universal con un motor servocontrolado con una capacidad de 5 kN. La máquina aplicó, a través de una platina, una fuerza de 131,69 N al área superficial del trigo dentro de la celda de análisis, mediante lo cual se simuló el peso del material anterior. Esto puede llevarse a cabo durante un plazo para permitir que el material se estabilice. En este caso, la presión se aplicó durante aproximadamente 10 minutos y se registró la reducción de altura resultante debido a la

compresión (columnas C y D).

Se calculó la densidad en la parte inferior de la capa L1, es decir, mediante el uso de la masa conocida de la muestra representativa de trigo y el volumen ocupado por dicha muestra bajo presión dentro de la celda de análisis. La densidad a una profundidad de 1 m, en el límite entre L1 y L2, es de 749,99 kg/m³.

- 5 La masa calculada de la capa L1 no se calcula en función de la densidad de la superficie de la reserva, y la masa de la capa L1 se calcula cuando se conoce el impacto de la masa de la capa L1 sobre la capa L2. Por lo tanto, el cálculo de la masa de la capa L1 utiliza el volumen de la capa multiplicado por la densidad promedio entre los límites de la capa. Para la capa L1 es la densidad de la superficie y la densidad a una profundidad de 1 m, es decir, un promedio de la suma de 741,99 kg/m³ y 749,99 kg/m³. La masa calculada del material en un recipiente rectangular con lados verticales y una huella de 10 m² es de 7460 kg.

Capa L2

- 15 A una profundidad de "1 m", bajo la compresión de la capa L1, la densidad es de 749,99 kg/m³. Suponiendo de nuevo que la profundidad de cada capa era de 1 m, se estimó que la fuerza aplicada por la capa L2 a las capas inferiores era de 264,81 N (columna G). Se simuló la fuerza aplicada por la capa L2 sobre la capa L3, según el método de la capa L1, y se registró la reducción resultante de la altura debido a la compresión (columnas C y D). La densidad en la parte inferior de la capa L2 a una profundidad de 2 m, en el límite entre L2 y L3, es de 764,95 kg/m³.

- 20 La masa calculada de la capa L2 se calcula en función del impacto de la masa de la capa L2 sobre la capa L3. Por lo tanto, el cálculo de la masa de la capa L2 utiliza el volumen de la capa multiplicado por la densidad promedio entre los límites de la capa. Para la capa L2 es el promedio de (i) la densidad en el límite entre L1 y L2 a una profundidad de 1 m y (ii) la densidad en el límite entre L2 y L3 a una profundidad de 2 m, es decir, un promedio de la suma de 749,99 kg/m³ + 764,95 kg/m³. La masa calculada del material en un recipiente rectangular con lados verticales y una huella de 10 m² es de 7575 kg.

Capa L3

- 25 A una profundidad de "3 m", bajo la compresión de las capas L1 y L2, la densidad es de 764,95 kg/m³. Suponiendo de nuevo que la profundidad de cada capa era de 1 m, se estimó que la fuerza aplicada por la capa L3 a las capas inferiores era de 400,58 N (columna G). Se simuló la fuerza aplicada por la capa L3 sobre la capa L4, según el método de la capa L1, y se registró la reducción resultante de la altura debido a la compresión (columnas C y D). La densidad en la parte inferior de la capa L3 a una profundidad de 3 m, en el límite entre L3 y L4, es de 774,98 kg/m³.

- 30 La masa calculada de la capa L3 se calcula en función del impacto de la masa de la capa L3 sobre la capa L4. Por lo tanto, el cálculo de la masa de la capa L3 utiliza el volumen de la capa multiplicado por la densidad promedio entre los límites de la capa. Para la capa L3 es el promedio de (i) la densidad en el límite entre L2 y L3 a una profundidad de 2 m y (ii) la densidad en el límite entre L3 y L4 a una profundidad de 3 m, es decir, un promedio de la suma de 764,95 kg/m³ + 774,98 kg/m³. La masa calculada del material en un recipiente rectangular con lados verticales y una huella de 10 m² es de 7700 kg.

35 Capa Ln

Se repitió el cálculo secuencial y la fuerza simulada sobre la muestra de trigo, tal como se muestra y se tabula en la Figura 5a. El propósito de la fuerza simulada sobre la muestra representativa es permitir la estimación de la densidad de cada capa.

- 40 A la luz de lo indicado en la presente, el tamaño de la celda de análisis y el equipo asociado pueden adaptarse para alojar materiales con tamaños de partículas mayores. También es posible realizar adaptaciones para permitir que se hagan posibles las estimaciones con capas menos profundas. El inventor considera que el intervalo óptimo de las profundidades de las capas se encuentra entre 0,2 m y 1,5 m, pero es posible implementar un intervalo de hasta 2 m.

Masa por capa

- 45 A partir de la masa estimada, las fuerzas simuladas y el cambio de la altura del material en la celda de análisis, se estimó a su vez la densidad de cada capa de 1 m. Mediante el uso de la densidad estimada para cada capa, y un volumen asumido, tal como un recipiente rectangular con lados verticales y una huella de 10 m², puede calcularse la masa para una capa L dada.

- 50 Un caso típico, en el que un propietario de la reserva solicita una auditoría de sus resultados de masa en un volumen estimado (Columna J) se basa en un único valor de densidad (denominado "densidad aparente") proporcionado por el propietario. Sin las capas de la invención, se calcula que la masa de este ejemplo es de 59.360 kg, mediante el uso de técnicas conocidas.

Por otro lado, si la masa se calcula por capa, según la invención, mediante el uso de las características del material para determinar la densidad de cada capa, entonces la masa total estimada es mayor (columna H) a 61.906 kg. Esto

se debe a que se ha demostrado que la densidad aumenta entre las capas mediante el uso de una única muestra representativa, por ejemplo. Mediante el uso de la densidad promedio, se calcula el promedio de la variación entre la densidad de cada capa. También es posible utilizar otros métodos de distribución de la densidad para mejorar la precisión.

- 5 La mejora de la precisión de la medición mediante la amortización de la densidad puede mitigarse adicionalmente al reducir el espesor de las capas utilizadas en las mediciones y los cálculos posteriores.

Si bien no se describe en detalle en la presente, la densidad de una capa puede estimarse mediante el uso de una profundidad simulada de 1 m, por ejemplo. Mediante el uso de los datos obtenidos a partir de los experimentos de laboratorio, el perfil de densidad puede representarse gráficamente, como se indica en la Figura 5b. A partir de una curva de ajuste óptimo (por ejemplo, una curva polinómica), puede estimarse la densidad de la reserva en puntos intermedios entre los límites de cada capa, de manera tal que el método según se reivindica puede simular una cantidad mayor de capas que las medidas realmente. Para que quede claro, si bien que la Tabla y la Gráfica de las Figuras 5a y 5b, respectivamente, muestran densidades de una reserva que tiene capas de 1 m, puede usarse la curva ajuste óptimo de la gráfica para perfeccionar las estimaciones, por ejemplo, al estimar la densidad de las capas con una profundidad de 0,5 m.

En el ejemplo de la Figura 5a, la masa total calculada es de 61.906 kg, lo que es 4,29 % mayor que la masa de 59.360 que se habría calculado si se hubiera utilizado la "densidad aparente". Puede observarse a partir de las columnas K, L y M que la diferencia entre la técnica conocida (sin capas) y el método de la invención (mediciones por capa) aumenta a medida que aumenta la profundidad de la reserva.

- 20 A la luz de lo indicado en la presente, la profundidad de las capas se puede aumentar o disminuir al estimar la densidad a partir de mediciones registradas anteriormente, como las que se muestran en la Figura 5a. Las estimaciones de la densidad para capas más o menos profundas pueden determinarse al formar una curva de "ajuste óptimo", como una curva polinómica, a través de las mediciones de densidad.

- 25 En la práctica, un material tal como trigo se almacena en un refugio subterráneo y se distribuye en camiones. Es posible tomar muestras representativas de cada carga distribuida para determinar las mediciones de densidad de cada carga y estimar, estadísticamente, la variación de la densidad a diversas profundidades en el refugio subterráneo.

Masa total

- 30 La Figura 6a tabula un caso real en el que la masa de material en varios refugios subterráneos (columna P) debía ser auditada para un cliente. El cliente proporcionó para cada refugio subterráneo el volumen de reserva (columna Q) y una densidad, denominada "densidad aparente" (columna R) y estos se utilizaron para estimar la masa (columna S) mediante el uso de técnicas conocidas.

- 35 Se supervisó en el tiempo la masa de cada entrega de material a cada refugio subterráneo, así como la masa de material retirado, para proporcionar la masa registrada (columna U). En teoría, este "valor contable" debería haber sido una representación exacta de la masa verdadera del material en cada refugio subterráneo. La diferencia entre la masa calculada y la masa registrada fue elevada (columnas W y X).

- 40 Es importante señalar que la masa registrada (columna U) no es necesariamente exacta, pero se considera, antes de una auditoría, la indicación más precisa de la masa de material en el refugio subterráneo. Para determinar la precisión del método descrito en la presente, el material del Refugio subterráneo 1A se midió con precisión mediante el retiro sistemático de material a un camión que se pesó mediante el uso de una plataforma de pesaje calibrada. El Refugio subterráneo 1A proporciona una referencia precisa para permitir la determinación de la exactitud de la invención.

- 45 Mediante el uso del Refugio subterráneo 1A como ejemplo, se simuló la densidad del material entre distintas capas mediante el uso de la prueba de compresión descrita anteriormente. Mediante el uso del método descrito anteriormente, en el cual se simuló la densidad de las capas, el promedio de las densidades entre las capas para el Refugio subterráneo 1A fue de 696,3 kg/m³ (columna U - densidad de laboratorio) y se utilizó para estimar la masa (columna V - masa de laboratorio) como 9174 toneladas. La diferencia entre la medición de masa calibrada de 9187 toneladas y la estimación de LAB fue de 13 toneladas, o una diferencia de 0,14 %. Si bien la masa de material en los Refugios subterráneos 3A, 5A, 4A, 6B y 2B no fue verificada mediante una plataforma de pesaje calibrada, el método de "laboratorio" o "LAB" descrito en la presente se utilizó para estimar la masa de cada Refugio subterráneo. Suponiendo que la masa registrada (columna T) es correcta, entonces el error promedio con técnicas de estimación conocidas fue de -3,86 %, mientras que el método de la invención tuvo un error promedio de -0,43 %.

- 55 La Figura 7 muestra un sistema 20 con una unidad de control 22 y una interfaz 24 dispuestos para controlar un dispositivo 26 configurado para aplicar presión a través de una platina 28 a una muestra representativa del material situado en un cilindro de análisis 30. A través de la interfaz, es posible controlar el sistema para establecer los datos y gráficas de las Figuras 5a y 5b. El sistema puede adaptarse para medir otros materiales y/u otras presiones de profundidades de capas simuladas.

La presente invención se describió anteriormente meramente a modo de ejemplo, y pueden realizarse modificaciones dentro del alcance de la invención, que se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para estimar la masa de material de una reserva, en donde el método incluye:
obtener un perfil de la superficie superior de dicha reserva; en donde el método se caracteriza por:
 - 5 definir una pluralidad de capas en la reserva en función del perfil de la superficie superior, en donde se define que cada capa se extiende de manera paralela al perfil de la superficie superior, y estimar el volumen de cada capa definida;
obtener características de densidad del material de la reserva;
estimar la densidad de cada capa definida según las características de densidad del material de la reserva; y
 - 10 calcular, mediante el uso del volumen y la densidad estimados de cada capa definida, la masa de la reserva.
2. El método de la reivindicación 1, en donde cada capa se extiende de manera paralela al perfil de la superficie superior y tiene un límite, configurado equidistante, en una dirección vertical, desde el perfil de la superficie superior.
3. El método de la reivindicación 1 o 2, en donde cada capa tiene una profundidad constante y/o aplica una presión o fuerza uniforme de manera vertical hacia abajo sobre el material que se encuentra debajo.
- 15 4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el gradiente del cambio de densidad de una capa, en una dirección vertical, es sustancialmente lineal.
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el gradiente del cambio de densidad de una capa, en una dirección vertical, no es lineal.
6. El método de cualquier reivindicación precedente, en donde se definen en la reserva al menos tres capas.
- 20 7. El método de cualquier reivindicación precedente, en donde la profundidad vertical de cada capa se encuentra entre 10 mm y 2000 mm.
8. El método de cualquier reivindicación precedente, en donde la obtención de las características de densidad del material de la reserva incluye recuperar una muestra representativa de la reserva y medir la densidad de la muestra representativa con cargas simuladas.
- 25 9. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde la obtención de las características de densidad del material de la reserva incluye recuperar una muestra de cada carga de material distribuido a la reserva, medir la densidad de cada muestra representativa con cargas simuladas y utilizar un análisis estadístico de las características de cada muestra representativa para estimar las características de densidad de la reserva.
10. El método de la reivindicación 8 o 9, en donde la obtención de las características de densidad incluye usar una prueba de compactación y/u obtener características de densidad de una base de datos.
- 30 11. Un sistema para estimar la masa de material en una reserva, en donde el sistema incluye: un aparato que funciona para obtener un perfil de la superficie superior de dicha reserva; en donde el sistema se caracteriza por:
un controlador, configurado para definir una pluralidad de capas en la reserva en función del perfil de la superficie superior, en donde se define que cada capa se extiende de manera paralela al perfil de la superficie superior, y
35 estimar el volumen de cada capa definida; obtener las características de densidad del material de la reserva; estimar la densidad de cada capa definida según las características de densidad del material de la reserva; y calcular, mediante el uso del volumen y la densidad estimados de cada capa definida, la masa de la reserva.
12. Un medio de almacenamiento informático que almacena uno o más programas, en donde dichos programas tienen instrucciones que, al ser ejecutadas por un dispositivo o sistema electrónico, llevan a cabo un método de
40 según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

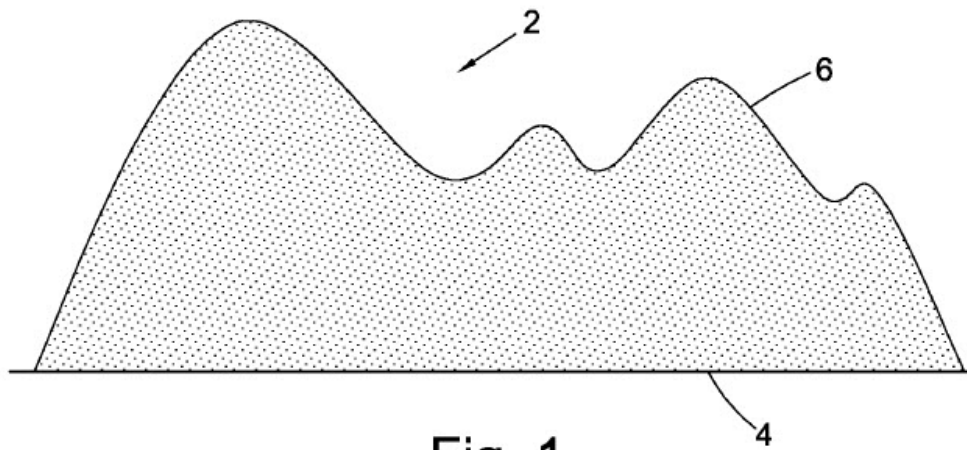


Fig. 1
(técnica anterior)

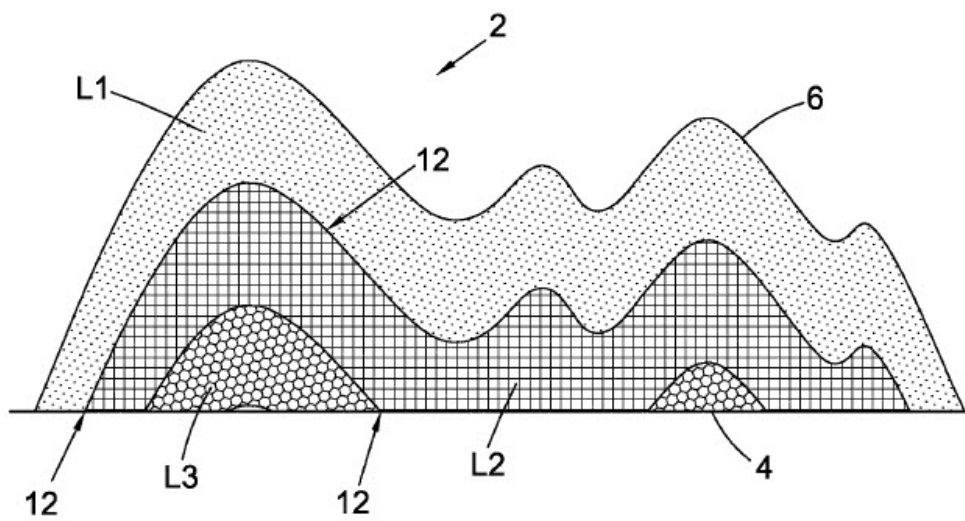


Fig. 2(a)

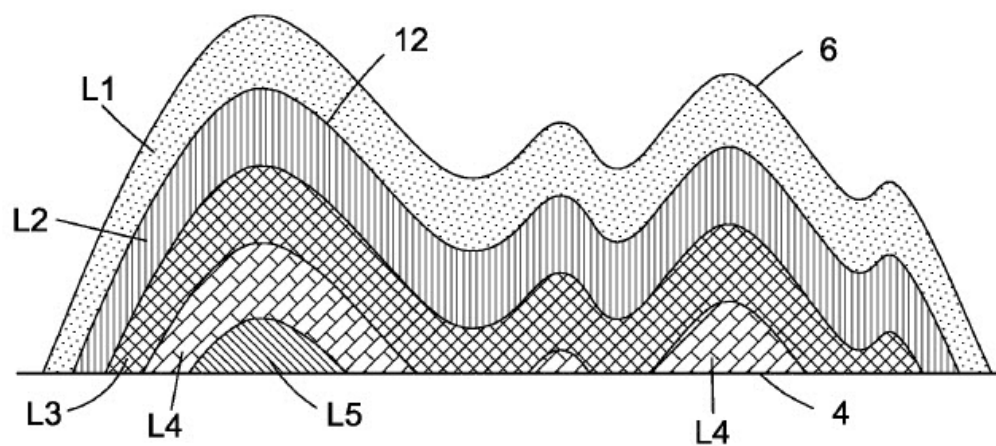


Fig. 2(b)

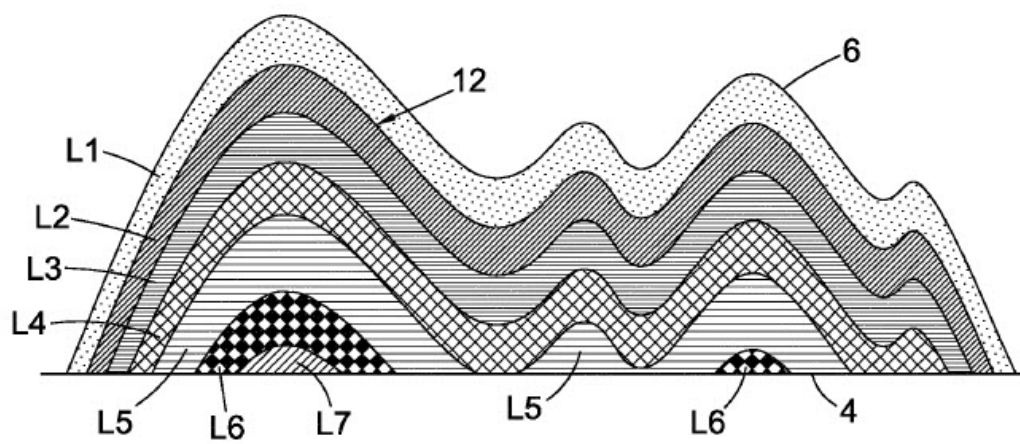


Fig. 2(c)

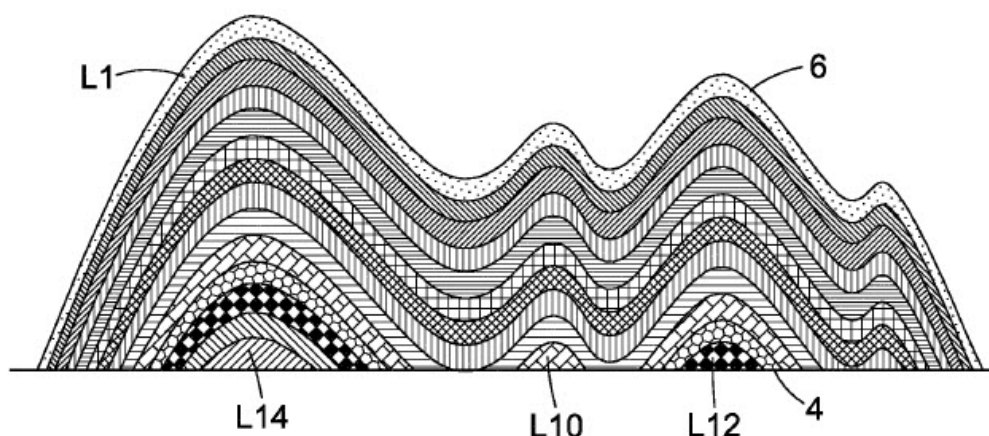


Fig. 2(d)

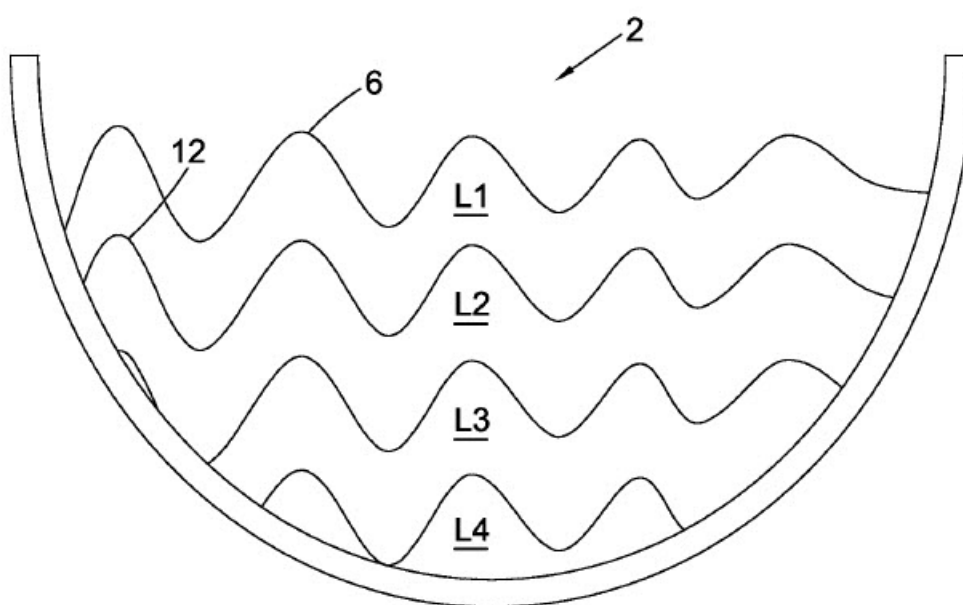


Fig. 3

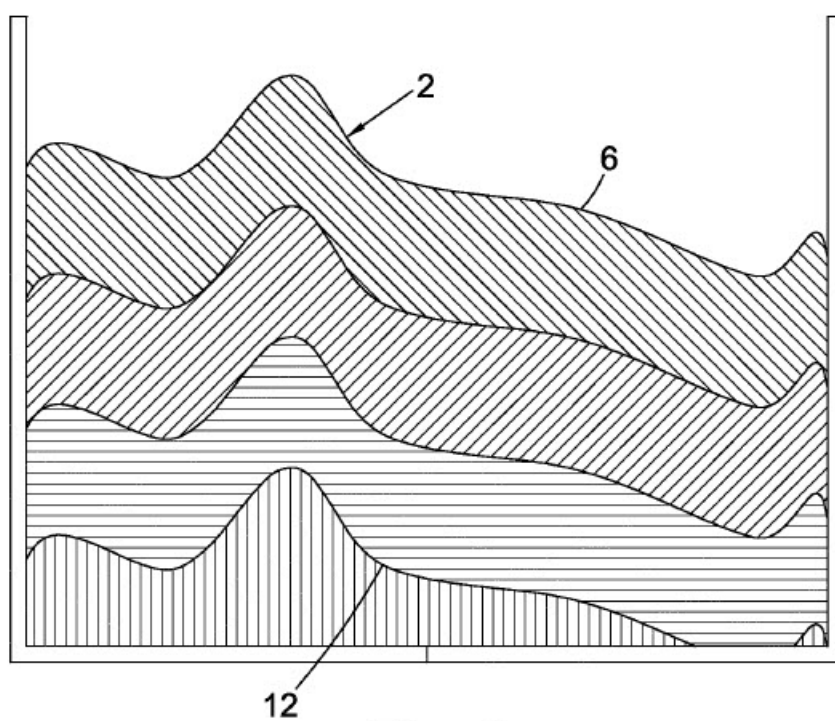


Fig. 4

Configuración del análisis			Unidad									
Volumen de la celda de análisis			3244 cm³									
Área superf. de la celda de análisis			181 cm²									
Masa de la muestra de trigo			2407.05 g		742 kg/m³							
Altura inicial de la muestra de la celda			179.23 mm		Valor de la masa proporcionada por el "cliente"							
Densidad inicial			742 kg/m³									
Gravedad			9.806 m/s²		*asumiendo un recipiente rectangular, con lados verticales y una huella de							
					10 m²							
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	
Capa	Profundidad (m)	Reducción de altura después de simulación (mm)	Altura de la muestra (mm)	Volumen de material en la celda de análisis (m³)	Densidad (kg/m³)	Fuerza estimada aplicada a la capa inferior (N)	Masa calculada POR CAPA (kg)	Masa (sin capas) (kg)	Masa total acumulada POR CAPA (kg)	Masa total acumulada (sin capas) (kg)	% diferencia	
Surface	0	0	179.23	0.003244	741.99	131.69						
L1	1	1.912	177.318	0.003209	749.99	264.81	7460		7460	7420	-0.54%	
L2	2	5.38	173.85	0.003147	764.95	400.58	7575		15035	14840	-1.31%	
L3	3	7.63	171.6	0.003106	774.98	538.13	7700		22734	22260	-2.13%	
L4	4	8.447	170.783	0.003091	778.69	676.34	7768	59360	30502	29680	-2.77%	
L5	5	8.732	170.498	0.003086	779.99	814.77	7793		38296	37100	-3.22%	
L6	6	10.055	169.175	0.003062	786.09	954.30	7830		46126	44520	-3.61%	
L7	7	10.719	168.511	0.003050	789.18	1094.37	7876		54003	51940	-3.97%	
L8	8	11.209	168.021	0.003041	791.49	1234.85	7903		61906	59360	-4.29%	
							61906	59360				
							"B"	"A"				
Totales				(kg)	% "B" > "A"							
A	Con un único valor de densidad			59360	-							
B	Calculados en una base "por capa"			61906	4.29%							

Fig. 5a

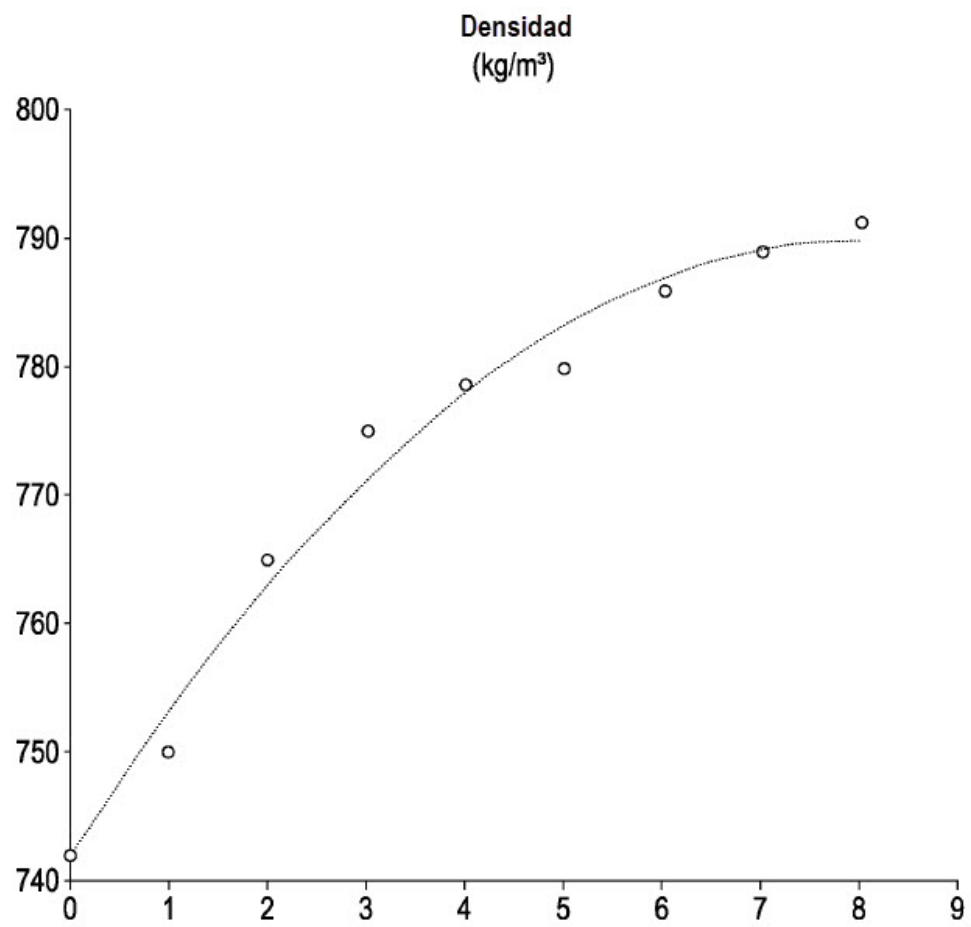


Fig. 5b

P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
Refugio subterráneo de referencia (fuente)	Volumen de reserva (m³)	Densidad indicada (kg/m³)	Masa estimada (tonelada)	Masa registrada (tonelada)	Densidad de LAB (kg/m³)	Masa de LAB (tonelada)	Diferencia estimada - registrada (tonelada)	Diferencia estimada - registrada (%)	Diferencia de masa registrada - LAB (tonelada)	Diferencia de masa registrada - LAB (tonelada)
3A	40,141	759.6	30,491	31,536	792.2	31,799	1,045.22	-3.43%	262.53	-0.83%
5A	33,115	750.7	24,859	25,817	782.9	25,926	957.67	-3.85%	108.55	-0.42%
4A	29,777	639.5	19,043	20,079	666.9	19,859	1,036.39	-5.44%	219.65	1.09%
6B	23,416	752.8	17,627	18,239	785.1	18,383	611.69	-3.47%	144.34	-0.79%
2B	17,896	766.1	13,710	14,085	800.0	14,317	374.53	-2.73%	232.18	-1.65%
1A	13,175	667.7	8,797	9,187	696.3	9,174	390	-4.43%	12.75	0.14%
	157,519.90		114,527.45	118,943.00		119,458.20	4,415.55	-3.86%	515.20	-0.43%
*La masa del Refugio subterráneo 1A se verificó a través de medición calibrada										

Fig. 6a

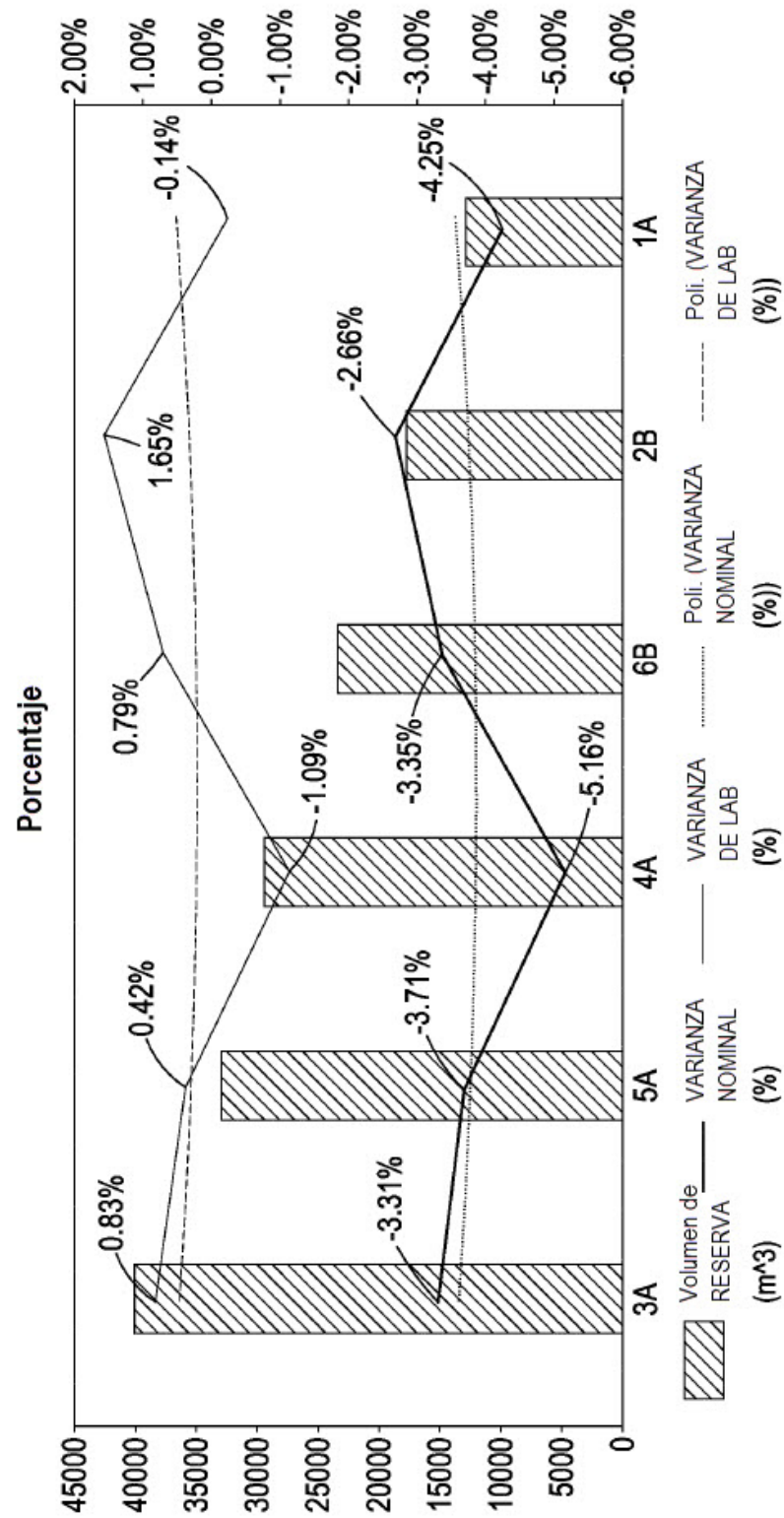


Fig. 6b

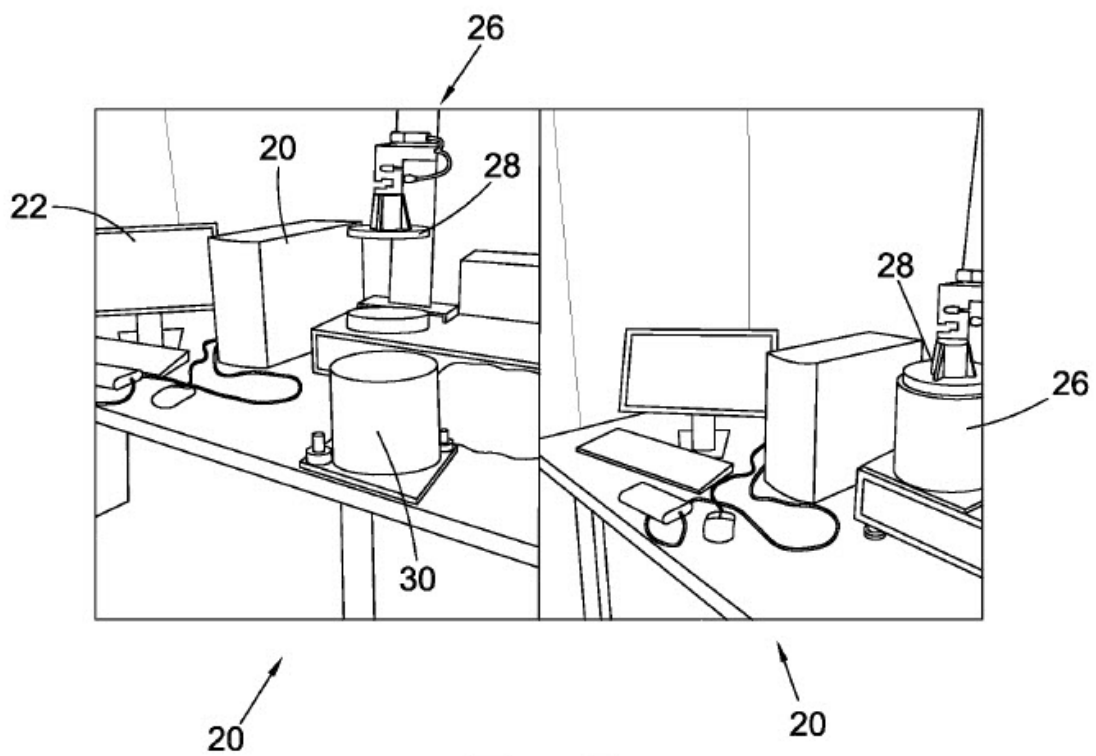


Fig. 7