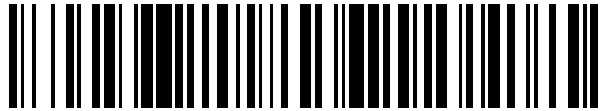


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 603 586**

51 Int. Cl.:

**G01N 3/30** (2006.01)

**G01N 3/52** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.08.2012 PCT/GB2012/052081**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.03.2013 WO13034887**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.08.2012 E 12772358 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.10.2016 EP 2753910**

54 Título: **Método y aparato para medir el índice de trabajo**

30 Prioridad:

**07.09.2011 GB 201115429**

**14.03.2012 GB 201204505**

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

**28.02.2017**

73 Titular/es:

**NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL  
(100.0%)**

**Polaris House North Star Avenue  
Swindon SN2 1EU, GB**

72 Inventor/es:

**WALLIS, HUMPHREY CRAVEN y  
HOLYOAKE, SIMON JAMES**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 603 586 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 aparato para medir el índice de trabajo

5 La invención se refiere a métodos y aparatos para medir el índice de trabajo.

La energía requerida por unidad de masa para romper una roca de un tipo dado, también conocido como el índice de ruptura o índice de trabajo de la roca, es un indicador útil sobre la energía necesaria para producir agregados de tal roca, y es un factor cada vez más importante en proyectos de construcción. Un gravamen sobre, y los objetivos para aumentar el uso de agregados reciclados, han aumentado la presión en la industria de los minerales para reducir el impacto medioambiental de la producción de agregados. La medición del índice de trabajo de un tipo de roca dado ayuda en la evaluación de la huella de carbono e impacto sobre el cambio climático involucrados en la producción de agregados de esa roca.

15 En un método conocido para medir el índice de trabajo de un tipo de roca dado, se somete una muestra de roca de manera simultánea a impactos desde direcciones opuestas suministrados por dos martillos montados en los extremos de los péndulos rígidos abisagrados respectivos desde puntos respectivos por encima de la muestra de roca (es decir, esos puntos son más altos que la muestra de roca). Los péndulos se levantan y seguidamente se liberan, tomándose la energía absorbida por la muestra de roca como la energía potencial de los martillos antes de la liberación y posterior impacto contra la muestra de roca. Generalmente se realiza una serie de ensayos, elevando los martillos más alto en cada ensayo hasta que la muestra de roca se rompe. La energía potencial de los martillos para el ensayo final (la que logra la rotura de la muestra de roca) se toma como medida del índice de trabajo de la roca. Se conoce este método como prueba de impacto de Bond, después de que F.C. Bond lo ideara en 1946.

25 "Impact work index prediction from continuum damage model of particle fracture" por L.M. Tavares y R.M. Carvalho, Minerals Engineering 20 (2007) 1368-1375 divulga la aplicación de un modelo que combina mediciones de energías de fractura de partícula y un parámetro que caracteriza la receptividad del material a la rotura mediante impactos repetidos en la predicción del índice de ruptura de Bond. Se usó un péndulo de impacto que sigue estrictamente el estándar de Bond para la medición de ruptura.

30 La presente invención proporciona un método para determinar un valor más preciso del índice de trabajo de una muestra de roca, midiendo la energía requerida para romper la muestra en dos o más trozos, comprendiendo el método las etapas de: someter la muestra a uno o más impactos hasta que la muestra se rompe, en el que la etapa de sometimiento de la muestra de roca a un impacto comprende montar la muestra de roca en un soporte a una distancia h verticalmente por debajo de dos puntos de pivote a partir de los cuales pivotan dos péndulos rígidos respectivamente, montándose los dos péndulos rígidos por extremos respectivos de los mismos para su rotación alrededor de puntos de pivote respectivos en un plano común y portando cada péndulo rígido un martillo o masa respectiva en un extremo del mismo, apartado de un punto de pivote, siendo la distancia desde un punto de pivote hasta el punto medio del martillo o de la masa correspondiente sustancialmente h, comprendiendo el método además elevar de cada martillo o masa sustancialmente a la misma altura vertical por encima de la muestra de roca y liberar las masas; y medir la energía absorbida por la muestra en cada impacto, en el que la etapa de medición de la energía absorbida por la muestra de roca para un primer impacto comprende la medición de las inclinaciones respectivas de los péndulos antes de la liberación de las masas y en el que la etapa de medición de la energía absorbida por la muestra de roca para cada impacto posterior comprende la medición de las inclinaciones máximas respectivas de los péndulos posterior al impacto previo de las masas contra la muestra de roca, en el que los péndulos están momentáneamente en reposo antes de volver a oscilar hacia abajo y hacia la muestra, y la etapa de medición de la energía absorbida por la muestra de roca para un impacto dado comprende la medición de las inclinaciones máximas respectivas de los péndulos posterior al impacto de las masas contra la muestra de roca; caracterizado por que el método comprende además la etapa de sumar dichas mediciones de energía para obtener una medición de la energía total absorbida por la muestra y usar el valor medido de la energía total absorbida para calcular el índice de trabajo de la muestra.

55 En la (conocida) prueba de impacto de Bond, solo se toma como medida de la energía necesaria para romper la roca, la energía estimada absorbida por una muestra de roca durante el impacto que finalmente provoca que se rompa. En otras palabras, la energía absorbida durante todos los impactos previos se ignora. Calculando la energía acumulada absorbida por todos los impactos, hasta e incluyendo el impacto que provoca que la muestra finalmente se rompa, se obtiene un valor mucho más preciso del índice de trabajo.

60 La etapa de medición de la energía absorbida por la muestra de roca para un impacto dado, comprende la etapa de medición de las inclinaciones respectivas de los péndulos antes de la liberación de las masas. Esto permite determinar la energía potencial inicial de las masas. La etapa de medición de la energía absorbida por la muestra de roca para un impacto dado, comprende la medición de las inclinaciones máximas respectivas de los péndulos posterior al impacto de las masas contra la muestra de roca - esto permite calcular la energía potencial de las masas después de rebotar tras el impacto contra la muestra de roca.

65

Preferentemente, la etapa de medición de la energía absorbida por la muestra de roca para un impacto dado, comprende la medición de la velocidad angular de ambos péndulos al impactar contra la muestra de roca, ya que esto se puede usar para calcular la energía cinética de las masas inmediatamente antes del impacto contra la muestra de roca.

5 La energía absorbida por la muestra de roca en un impacto particular, se puede calcular tomando la referencia en la energía potencial de las masas en reposo antes del impacto (para un primer impacto esto sería la energía potencial de las masas en reposo antes de la liberación) y en el momento en el que a continuación descansan tras el impacto contra la muestra de roca, es decir, a la altura máxima que el péndulo alcanza cuando rebota desde la muestra tras el impacto, donde el péndulo está momentáneamente en reposo (tiene velocidad cero) antes de volver a oscilar hacia abajo y hacia la muestra. Sin embargo, más preferentemente la velocidad angular de los péndulos inmediatamente antes del impacto se puede usar para calcular la energía cinética de las masas, y la energía potencial de las masas después de entrar en estado de reposo tras el impacto se resta para hallar la energía absorbida por la muestra de roca.

15 Para permitir que se establezca la fuerza ejercida sobre la muestra de roca, se mide preferentemente la aceleración angular de los péndulos rígidos después de que se hayan liberado las masas.

20 Preferentemente, el método puede comprender además la medición de la masa de la muestra de roca. La masa de la muestra de roca se puede medir continua o periódicamente durante la ejecución del método.

25 Preferentemente, el punto final del método, es decir cuando se rompe la muestra de roca, se puede determinar por referencia a un parámetro o definición predeterminada, por ejemplo, rompiéndose la muestra de roca en un grado predeterminado. Por ejemplo, para llegar a un valor consistente de índice de trabajo para un tipo de roca dado, preferentemente la muestra de roca puede someterse a uno o más impactos hasta que la muestra de roca se rompe de tal manera que la masa de los fragmentos retirados de la misma iguala o supera una proporción de la masa dada de la muestra de roca sin romper, midiendo la energía absorbida por la muestra de roca en cada impacto, y sumando las mediciones de energía para obtener una medición de la energía total absorbida por la muestra de roca. Por ejemplo, la muestra de roca puede someterse a uno o más impactos hasta que la muestra de roca se rompe de tal manera que la masa de los fragmentos retirados de la misma iguala o excede el 10 %, 25 % o la mitad de la masa de la muestra de roca sin romper.

35 Preferentemente cada muestra de roca se mecaniza hasta adoptar una forma de cubo precisa cuyo lado tenga una longitud predeterminada antes de montarla sobre el soporte para que la forma de la muestra sea consistente en todas las muestras. Normalmente, la longitud predeterminada puede ser de 3 mm a 50 mm, por ejemplo, de 20 mm a 50 mm. La deformación de una muestra de roca se puede medir durante un impacto.

40 La deformación y la distancia a través de la que los martillos se desaceleran desde la velocidad de impacto hasta velocidad cero pueden proporcionar una medida precisa de la fuerza ejercida por los martillos sobre la muestra. Se puede usar un medio de procesamiento de imágenes para observar y preferentemente medir la deformación de una muestra de roca durante un impacto.

45 Otro aspecto de la invención proporciona un aparato para determinar un valor más preciso del índice de trabajo de una muestra de roca, midiendo la energía requerida para romper la muestra en dos o más trozos, comprendiendo el aparato: un medio para someter la muestra a uno o más impactos hasta que la muestra se rompe, en el que el medio para someter la muestra de roca a uno o más impactos comprende una montura para soportar la muestra de roca, y un primer y segundo péndulos rígidos de longitud  $h$  que tienen los primeros extremos respectivos montados para que los péndulos rígidos roten en un plano común a una distancia  $h$  sobre la montura cuando el aparato está en su orientación operativa normal, portando los péndulos rígidos masas o martillos respectivos en los segundos extremos respectivos de los mismos; y un medio para medir la energía absorbida por la muestra en cada impacto, comprendiendo el medio para medir la energía absorbida por la muestra de roca en cada impacto un codificador de árbol respectivo montado sobre los péndulos rígidos y un medio de lectura para leer los codificadores de árbol para establecer las inclinaciones de los péndulos rígidos; caracterizado por que el aparato además comprende un medio para sumar dichas mediciones de energía para obtener una medición de la energía total absorbida por la muestra de roca y un medio para calcular el índice de trabajo de la muestra de roca usando el valor medido de la energía total absorbida para calcular el índice de trabajo de la muestra.

60 Preferentemente, las masas o martillos pueden pesar al menos 5 kg y/o no más de 30 kg. Por ejemplo, las masas o martillos pueden pesar 5 kg, 10 kg, 15 kg o 20 kg.

65 Preferentemente, la longitud  $h$  puede ser al menos 0,1 m y no más de 1 m, preferentemente al menos 0,2 m y/o no más de 0,8 m. Por ejemplo, la altura  $h$  puede ser 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m, 0,6 m o 0,7 m.

Preferentemente, dicho medio de lectura puede disponerse para cooperar con los codificadores de árbol para determinar la velocidad angular y/o la aceleración angular de los péndulos.

Para permitir que los brazos de péndulo se levanten antes de la posterior liberación e impacto contra la muestra de roca, el aparato preferentemente comprende un primer y segundo pestillos electromagnéticos para acoplar y liberar las masas, y un primer y segundo mecanismos de cabrestante y cable para levantar los pestillos electromagnéticos (con las masas fijadas) en una altura vertical deseada sobre la muestra.

Preferentemente, el aparato puede comprender un medio para medir la masa de la muestra de roca sobre la montura. Por ejemplo, la montura puede comprender un equilibrio de masas. Se puede proporcionar un medio de procesamiento de imágenes para observar y preferentemente medir la deformación de una muestra de roca durante un impacto contra las dos masas.

A continuación, se describen las realizaciones de la invención con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

la Figura 1 muestra una vista lateral de un aparato de la invención;  
 la Figura 2 muestra una vista en perspectiva del aparato de la Figura 1; y  
 la Figura 3 muestra una parte del aparato de la Figura 1 que comprende una unidad de procesamiento para el cálculo del índice de trabajo y/o la energía absorbida por la muestra de roca que tiene como resultado la rotura de la muestra de roca.

Con referencia a las Figuras 1 y 2, se indica generalmente con 100 un aparato de la invención. El aparato 100 comprende un bastidor 110 rígido y dos brazos 112A, 112B de péndulo rígidos cada uno de los cuales se monta para rotar alrededor de un extremo, y que portan una masa de 10 kg, o martillo, 116A, 116B en el otro extremo. Cada brazo 112A, 112B tiene una longitud de 0,5 m. Los brazos 112A, 112B se montan respectivamente en los puntos 113A y 113B de pivote. La distancia h desde los puntos 113A, 113B pivotantes hasta el punto medio de las masas 116A, 116B respectivas es sustancialmente la misma que la distancia vertical por debajo de los puntos 113A, 113B pivotantes de un soporte o plinto 118 que soporta una muestra de roca durante el uso del aparato. Cada masa 116A, 116B tiene asociado un pestillo 118A, 118B electromagnético que puede mantener o liberar la masa 116A, 116B o martillo asociado. Cada pestillo 118A, 118B electromagnético puede levantarse por medio de un mecanismo de cabrestante y cable que comprende molinetes 120A, 120B y poleas 122A, 122B. Los extremos de los brazos de péndulo montados en los puntos 113A, 113B pivotantes portan cada uno un codificador 114A, 114B de árbol que permite las inclinaciones de los brazos 112A, 112B que se medirán durante el uso del aparato 100, y también se realizará un seguimiento en el tiempo para determinar sus velocidades angulares y aceleraciones angulares.

La Figura 3 muestra un brazo 112B de péndulo en relación con una unidad 130 de procesamiento/representación y un ordenador 140. El brazo 112B de péndulo rígido puede portar opcionalmente un acelerómetro 115B. Las señales de salida desde el codificador 114B de árbol, y desde el acelerómetro 115B (si se proporciona) se introducen en una unidad 136 de acondicionamiento de señal de una unidad 130 de procesamiento/representación que proporciona una carcasa resistente y que además comprende una unidad 132 de fuente de alimentación, una pantalla 134 y un microprocesador 138. La salida del microprocesador 138 puede introducirse en un ordenador 140. Se muestra la estructura y la relación con la unidad 130 de procedimiento/representación del brazo 112A de péndulo rígido en la Figura 3 en relación con un brazo 112B de péndulo. La unidad 136 de acondicionamiento de señales comprende filtros de entrada para desacoplar el ruido de RF y electrónica de fijación de señales que impide que las señales entrantes superen el umbral de entrada del microprocesador 138.

Cuando se usa el aparato, se coloca una muestra de roca en el plinto 118 o soporte y se levantan los martillos/masas 116A, 116B a una altura particular por encima del plinto 118 por medio de pestillos 118A, 118B electromagnéticos y el mecanismo de cabrestante y cable. La inclinación de los brazos de péndulo rígidos en la vertical, y el intervalo de cambio de la inclinación, se miden y registran mediante la unidad de procesamiento/representación y se usan para evaluar la energía potencial de los martillos 116A, 116B cuando se levantan. Los pestillos 118A, 118B electromagnéticos se reactivan para que se liberen los brazos 112A, 112B de péndulo. Los brazos 112A, 112B de péndulo seguidamente oscilan hacia abajo para impactar contra la muestra de roca sustancialmente de manera simultánea y desde lados opuestos de los mismos. La velocidad angular máxima de los péndulos 112A, 112B se mide mediante la unidad 130 de procesamiento/representación y se usa para obtener la energía cinética máxima de los martillos 116A, 116B antes de impactar contra la muestra de roca. Los péndulos 112A, 112B rígidos y los martillos 116A, 116B rebotan tras el impacto contra la muestra de roca hasta una altura particular; también se mide y registra la inclinación de los brazos 112A, 112B de péndulo para hallar la energía potencial máxima de los martillos 116A, 116B tras el impacto contra la muestra de roca.

La unidad 130 de procesamiento/representación se dispone para restar la energía potencial máxima de los martillos 116A, 116B al rebotar desde la muestra de roca después del impacto desde la energía cinética máxima de los martillos 116A, 116B inmediatamente antes de impactar para llegar a la energía absorbida por la muestra de roca. La unidad 130 de procesamiento/representación también puede evaluar la desaceleración de los martillos 116A, 116B durante el impacto por medio de acelerómetros, tal como 115B, para determinar la fuerza ejercida sobre la muestra durante el impacto. Las señales pasan desde los codificadores 114A, 114B de árbol hasta un circuito lógico (no mostrado) dentro de la unidad 130 de procesamiento/representación, derivando el circuito lógico un recuento de pulso combinado único para duplicar la resolución de los codificadores de árbol y para hallar la dirección de desplazamiento de los martillos 116A, 116B (es decir si los martillos están descendiendo o rebotando).

Después de alcanzar sus alturas máximas en el rebotado desde el primer impacto contra la muestra de roca, los martillos 116A, 116B descienden de nuevo para impactar contra la muestra de roca por segunda vez. Después de rebotar desde la muestra de roca una segunda vez, los martillos 116A, 116B impactarán y rebotará desde la muestra de roca varias veces más antes de quedar finalmente en reposo. Para cada impacto, la unidad 130 de procesamiento/representación mide la energía cinética máxima de los martillos 116A, 116B antes del impacto y resta su energía potencial inicial para llegar a una medida de energía absorbida para ese impacto. La unidad 130 suma los valores de energía absorbida para cada impacto para proporcionar la energía total acumulada absorbida por la muestra de roca.

Si la muestra de roca permanece sin romper tras una primera serie de impactos, los martillos 116A, 116B se pueden levantar de nuevo por medio de pestillos 118A, 118B electromagnéticos y el sistema de cabrestante y cable que incorpora molinetes 120A, 120B y cabrestantes 122A, 122B. Cuando los pestillos 118A, 118B electromagnéticos se reactivan, la muestra de roca montada sobre el plinto 118 se somete a una segunda serie de impactos, y la energía acumulada absorbida por la muestra de roca a lo largo de ambas series de impactos desde los martillos 116A, 116B se evalúa adicionalmente mediante el microprocesador 138.

Una vez que la muestra de roca se ha roto de tal manera que la masa de la muestra restante es, por ejemplo, el 50 % de la masa inicial de la muestra de roca original, la unidad 130 de procesamiento/representación deja de continuar calculando la energía acumulada absorbida por la muestra de roca, y se muestra o pasa al ordenador 140 un valor final para el total de energía absorbida. El plinto 118 puede incluir un equilibrio u otros medios de peso dispuestos para enviar una señal a la unidad 130 de procesamiento/representación cuando la masa de la muestra de roca ha alcanzado un porcentaje apropiado de su masa original.

Los datos relacionados con las posiciones angulares y velocidades angulares de los brazos de péndulo, los datos de salida del acelerómetro (cuando se proporciona) y así sucesivamente tienen un sello de tiempo y se almacenan en la unidad 130. Posteriormente, esta información se puede pasar al ordenador 140 a través de una conexión 135 USB como un archivo .txt para trazarlo usando un programa de hoja de cálculo. Los datos se pueden mostrar adicionalmente mediante la pantalla 134 de la unidad 130 durante la adquisición, lo que permite a un usuario del aparato 100 supervisar los resultados de los impactos en tiempo real. Por ejemplo, el usuario puede ser capaz de evaluar la deformación y/o rotura de la muestra en tiempo real.

El índice de trabajo WI de la muestra de roca se puede representar mediante

$$WI = c \frac{IS}{SD}$$

Ecuación 1

donde c es una constante, IS (en unidades en N/m<sup>2</sup>) la fuerza de impacto requerida para romper la muestra de roca y SD es la densidad de la roca (unidades en kg/m<sup>3</sup>). La Ecuación 1 es dimensionalmente consistente. Ambos lados de la Ecuación 1 tienen dimensiones L<sup>2</sup>T<sup>-2</sup> que son las dimensiones de energía por unidad de masa. La unidad 130 de procesamiento se puede disponer, si fuera necesario, para obtener el índice de trabajo para una muestra de roca basándose en la ecuación 1 cuando la muestra de roca se rompe a un grado predeterminado mediante el aparato de la Figura 1.

El aparato 100 puede comprender además un medio de procesamiento de imágenes (no mostrado) para observar y preferentemente medir la deformación de una muestra de roca durante al menos un impacto.

Ventajosamente, la medición de la deformación de la muestra de roca puede añadir valor a la salida global de la prueba porque, por ejemplo, puede permitir la medición y el cálculo de la fuerza media durante el impacto (tanto si la muestra se fractura como si no). Este valor, cuando se expresa como una presión (fuerza/área) puede ser útil para derivar una ecuación dimensionalmente significativa.

Ventajosamente, la invención le permite a un usuario capturar cada momento de la trayectoria del medio para someter la muestra de roca a uno o más impactos. Así, por ejemplo, se puede obtener un historial completo del movimiento de las masas o martillos durante el ensayo. Como resultado, se puede obtener un valor de índice de trabajo más preciso y fiable. Ventajosamente, los resultados son más repetibles. Por consiguiente, puede no ser necesario llevar a cabo tantas pruebas para determinar el índice de trabajo de un material dado, por ejemplo, una roca.

Adicionalmente o como alternativa, se puede recopilar otra información potencialmente útil acerca de la muestra.

Si bien la invención se ha descrito principalmente en relación con la roca de prueba y puede tener una utilidad particular en la industria de los agregados, está previsto que otros materiales puedan someterse a ensayos de acuerdo con la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de determinación de un valor más preciso del índice de trabajo de una muestra de roca midiendo la energía requerida para romper una muestra de roca en dos o más trozos, comprendiendo el método las siguientes etapas:

someter la muestra de roca a uno o más impactos hasta que la muestra de roca se rompe, en el que la etapa de sometimiento de la muestra de roca a un impacto comprende montar la muestra de roca en un soporte (118) a una distancia h verticalmente por debajo de dos puntos (113A, 113B) de pivote a partir de los cuales dos péndulos (112A, 112B) rígidos se pivotan respectivamente, estando los péndulos (112A, 112B) rígidos montados por extremos respectivos de los mismos para su rotación alrededor de puntos (113A, 113B) de pivote respectivos en un plano común y portando cada péndulo (112A, 112B) rígido una masa (116A, 116B) respectiva en un extremo del mismo apartada de un punto (113A, 113B) de pivote, siendo la distancia desde un punto (113, 113B) de pivote al punto medio de una masa (116A, 116B) correspondiente, sustancialmente h, comprendiendo el método además la elevación de cada masa (116A, 116B) a sustancialmente la misma altura vertical por encima de la muestra de roca y la liberación de las masas (116A, 116B); y medir la energía absorbida por la muestra de roca en cada impacto, en el que la etapa de medición de la energía absorbida por la muestra de roca para un primer impacto comprende medir las inclinaciones respectivas de los péndulos (112A, 112B) antes de la liberación de las masas y en el que la etapa de medición de la energía absorbida por la muestra de roca para cada impacto posterior comprende medir las inclinaciones máximas respectivas de los péndulos (112A, 112B) posteriores al impacto previo de las masas (116A, 116B) contra la muestra de roca, en el que los péndulos (112A, 112B) están momentáneamente en reposo antes de volver a oscilar hacia abajo y hacia la muestra, y la etapa de medición de la energía absorbida por la muestra de roca para un impacto dado comprende medir las inclinaciones máximas respectivas de los péndulos (112A, 112B) posteriores al impacto de las masas (116A, 116B) contra la muestra de roca;

caracterizado por que el método además comprende la etapa de suma de dichas mediciones de energía para obtener una medición de la energía total absorbida por la muestra de roca y el uso del valor medido de la energía total absorbida para calcular el índice de trabajo de la muestra de roca.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la etapa de medición de la energía absorbida por la muestra de roca para un impacto dado comprende medir la velocidad angular de ambos péndulos (112A, 112B) al impactar contra la muestra de roca.

3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o reivindicación 2 que además comprende medir la aceleración angular de al menos uno de los péndulos (112A, 112B) rígidos después de la liberación de las masas.

4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, reivindicación 2 o reivindicación 3 que además comprende medir la masa de la muestra de roca.

5. Un método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la masa de la muestra de roca se mide continua o periódicamente durante la ejecución del método.

6. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior que comprende someter la muestra de roca a uno o más impactos hasta que la muestra de roca se rompe de tal manera que la masa de los fragmentos retirados de la misma es igual o superior a una proporción predeterminada de, por ejemplo, un 10 %, 25 % o la mitad de la masa de la muestra de roca sin romper, y medir la energía absorbida por la muestra de roca en cada impacto.

7. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la muestra de roca se mecaniza como un cubo que tiene un lado de una longitud predeterminada antes de montar la muestra de roca sobre el soporte.

8. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior que además comprende la etapa de medición de la deformación de la muestra de roca durante al menos un impacto.

9. El aparato (100) para determinar un valor más preciso del índice de trabajo de una muestra de roca midiendo la energía requerida para romper la muestra de roca en dos o más trozos, comprendiendo el aparato (100): un medio para someter la muestra de roca a uno o más impactos hasta que la muestra de roca se rompe, en el que el medio de sometimiento de la muestra de roca a uno o más impactos comprende una montura (118) para soportar la muestra de roca, y un primer y segundo péndulos (112A, 112B) rígidos de longitud h que tienen primeros extremos respectivos montados para que los péndulos (112A, 112B) rígidos roten en un plano común a una distancia h por encima de la montura (118) cuando el aparato (100) está en su orientación operativa normal, portando los péndulos (112A, 112B) rígidos masas (116A, 116B) respectivas en los segundos extremos respectivos de los mismos; y un medio para medir la energía absorbida por la muestra de roca en cada impacto, comprendiendo el medio para medir la energía absorbida por la muestra de roca en cada impacto un codificador (114A, 114B) de árbol respectivo montado sobre los péndulos (112A, 112B) rígidos y un medio de lectura para leer los codificadores (114A, 114B) de árbol para establecer las inclinaciones de los péndulos (112A, 112B) rígidos; caracterizado por que el aparato (100)

además comprende un medio para sumar dichas mediciones de energía para obtener una medición de la energía total absorbida por la muestra de roca y un medio para calcular el índice de trabajo de la muestra de roca usando el valor medido de la energía total absorbida para calcular el índice de trabajo de la muestra de roca.

- 5 10. Aparato (100) de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el medio de lectura se dispone para cooperar con los codificadores (114A 114B) de árbol para determinar la velocidad angular de los péndulos (112A, 112B).
- 10 11. Aparato (100) de acuerdo con la reivindicación 9 o reivindicación 10, en el que el medio de lectura se dispone para cooperar con los codificadores (114A 114B) de árbol para determinar la aceleración angular de los péndulos (112A, 112B) rígidos.
- 15 12. Aparato (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11 que además comprende un primer y segundo pestillos (118A, 118B) electromagnéticos para mantener y liberar la masa (116A, 116B), y un primer y segundo mecanismos de cabrestante y cable para levantar los pestillos (118A, 118B) verticalmente por encima de la muestra de roca cuando está montada sobre la montura (118).
- 20 13. Aparato (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12 que además comprende un medio para medir la masa de una muestra de roca sobre la montura (118).
14. Aparato (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13 que además comprende un medio de procesamiento de imágenes para observar y preferentemente medir la deformación de una muestra de roca montada en el aparato (100) durante al menos un impacto.

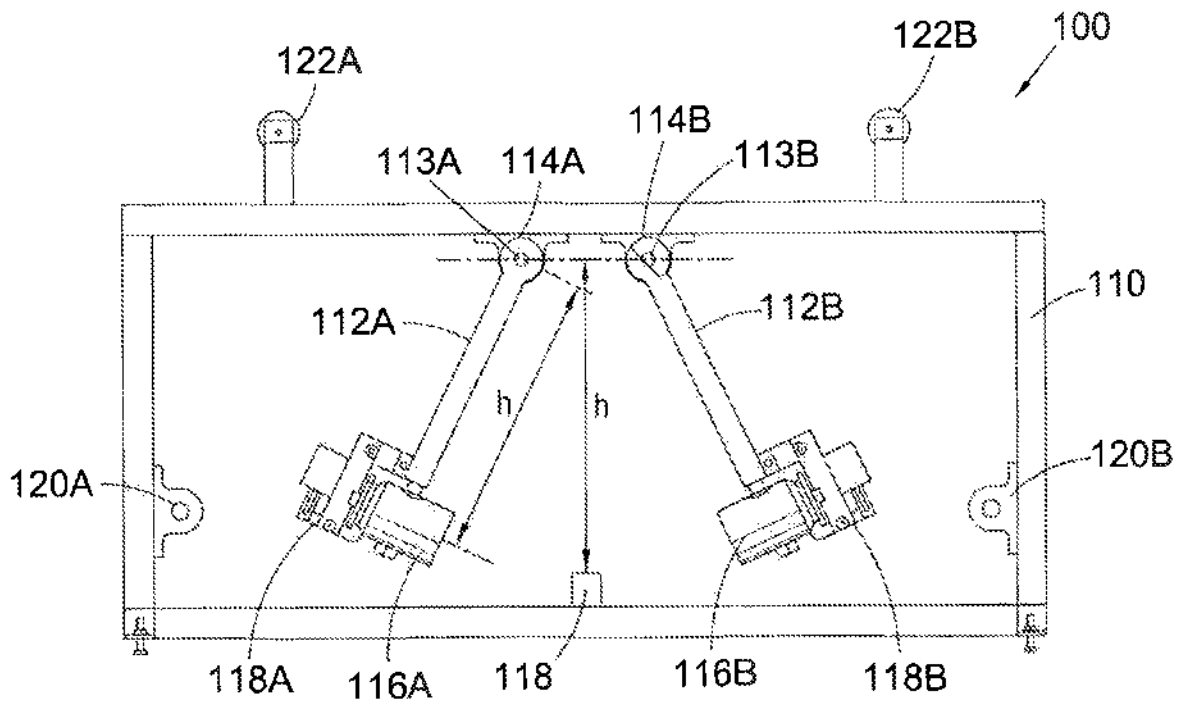


Fig. 1

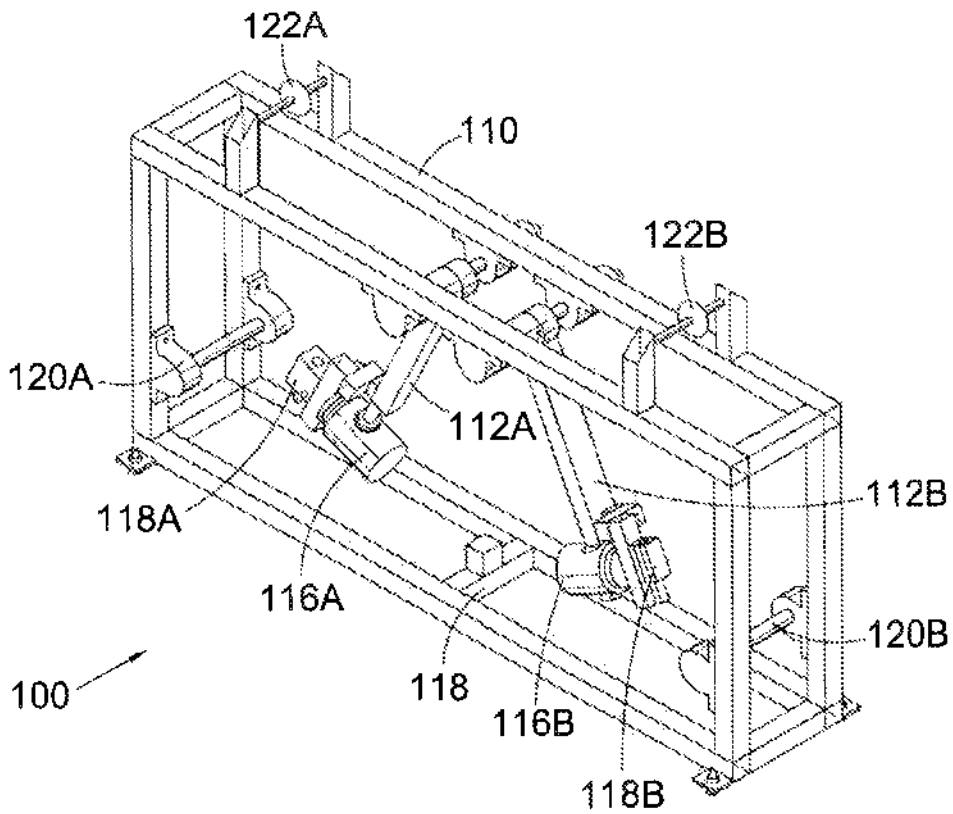


Fig. 2



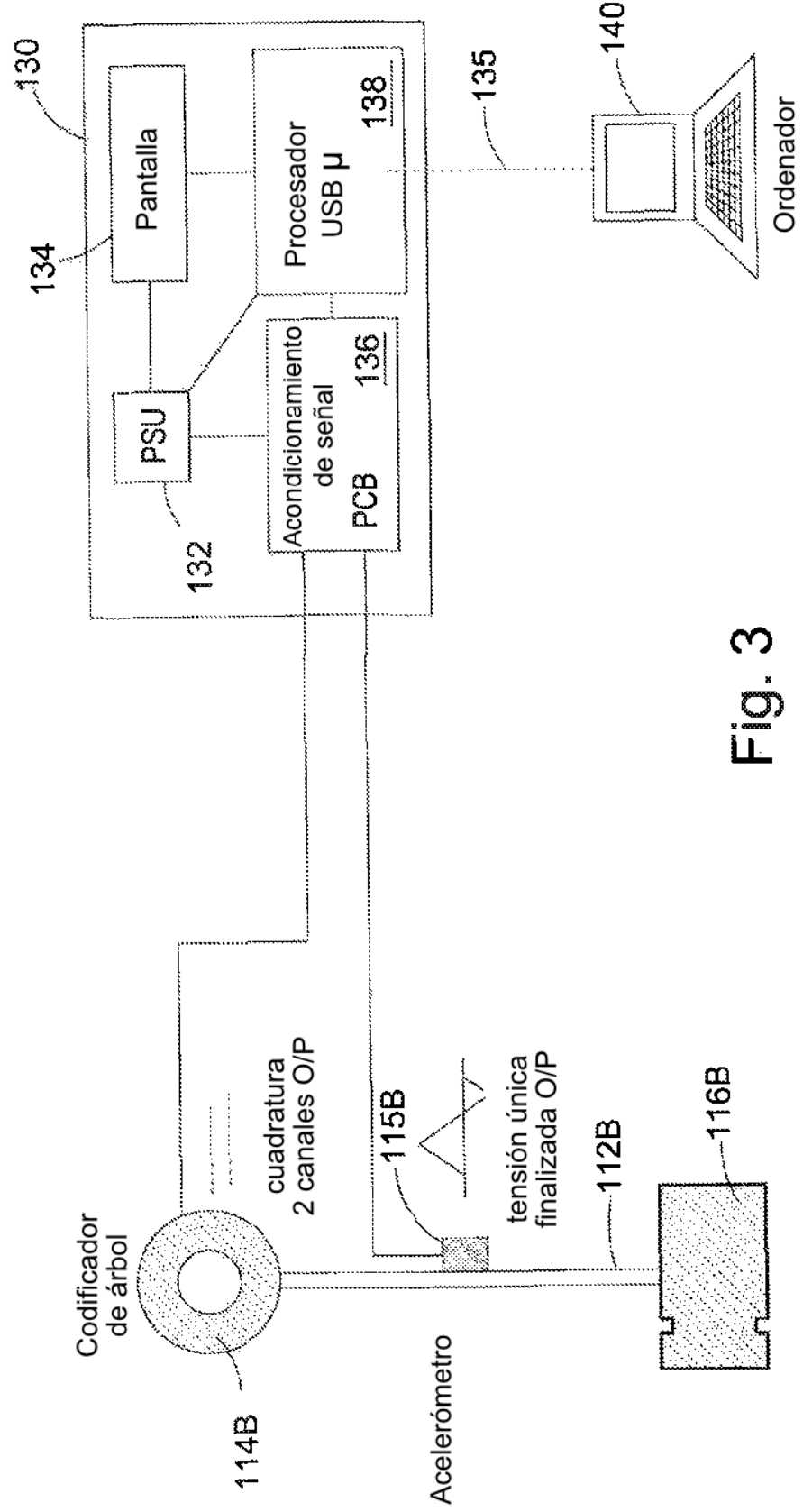


Fig. 3