

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 426**

51 Int. Cl.:

**F42D 1/05** (2006.01)

**F42C 15/42** (2006.01)

**F42B 3/11** (2006.01)

**F42B 3/113** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.03.2015 PCT/AU2015/050122**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.10.2015 WO15143502**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2015 E 15769997 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2019 EP 3123104**

54 Título: **Unidad de cebado de explosivos y método de voladura**

30 Prioridad:

**27.03.2014 US 201461971205 P**

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

**22.04.2020**

73 Titular/es:

**ORICA INTERNATIONAL PTE LTD (100.0%)  
78 Shenton Way, 06-15 Tower 2  
Singapore 079120, SG**

72 Inventor/es:

**APPLEBY, RODNEY;  
JOHNSON, DAVID;  
GOODRIDGE, RICHARD y  
WICKS, BYRON**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 755 426 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

Unidad de cebado de explosivos y método de voladura

### Solicitud relacionada

La presente solicitud se refiere a la solicitud provisional de los Estados Unidos N.º 61/971.205, presentada el 27 de marzo de 2014 a nombre de Orica International Pte Ltd.

### Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere en general a artefactos, unidades de cebado, sistemas y métodos para voladura con iniciación electrónica, por ejemplo, sistemas para iniciación de explosivos enterrados en aplicaciones que incluyen la minería de superficie, la minería subterránea, las canteras, la construcción civil y/o la exploración sísmica en tierra o en el océano.

### Antecedentes

- 10 En las aplicaciones de voladura, por ejemplo, la minería de superficie, la minería subterránea, las canteras, la construcción civil y/o la exploración sísmica en tierra o en el océano, los explosivos se entierran, por ejemplo, en pozos de perforación en patrones seleccionados. Para iniciar los explosivos enterrados, se utilizan diversos artefactos de iniciación, por ejemplo, el cordón detonante (también conocido como "cordón det"), o detonadores controlados eléctricamente. La sincronización de las explosiones de los explosivos en diferentes ubicaciones en un patrón de voladura puede ser crítica para el éxito de una operación de voladura.

- 15 En algunos entornos y aplicaciones complicadas, puede ser no deseable conectar explosivos enterrados con conectores físicos, por ejemplo, cordones det o cables eléctricos. Por ejemplo, dichos conectores pueden causar problemas si se cablean a través de un sitio minero.

- 20 Se ha propuesto la comunicación inalámbrica con detonadores electrónicos, pero los sistemas existentes siguen siendo inadecuados para algunas aplicaciones. Por ejemplo, algunos sistemas inalámbricos propuestos que utilizan señales de radiofrecuencia (RF) requieren una conexión con línea de visión desde una máquina de voladura hasta la boca de cada pozo de perforación. Además, la posibilidad de activar los detonadores electrónicos con señales inalámbricas puede hacer que el almacenamiento, el transporte y la instalación de dichos detonadores sea extremadamente peligroso si las señales de voladura se reciben e interpretan en un momento equivocado o si se interpretan de forma incorrecta.

- 25 Una primera clase de sistemas de voladura electrónicos inalámbricos puede emplear comunicaciones convencionales de ondas de radio hacia y desde el pozo de perforación. En estos sistemas, el receptor o transceptor en cada pozo de perforación tiene al menos una antena fuera del pozo de perforación para comunicarse, ya que las ondas de radio no pueden desplazarse a través de la roca ni incluso a través de material de retacado. Puede ser necesario un canal de comunicación secundario entre la "caja superior" y el dispositivo dentro del pozo en el que se realiza el cronometraje y que, en el momento adecuado, provocará la iniciación del tren de explosivos en el pozo de perforación.

- 30 Una segunda clase de sistemas de voladura electrónicos inalámbricos puede emplear la comunicación inalámbrica a través de la roca, en la que la comunicación se efectúa por medio de la generación sobre el patrón de explosiones de un campo magnético controlado que es detectado por magnetómetros que son parte de los dispositivos de iniciación dentro de cada pozo de perforación.

- 35 La iniciación que depende de la comunicación por radio a (y opcionalmente desde) cada pozo de perforación tiene la desventaja de requerir el acceso mediante las ondas de radio al receptor en la boca del pozo de perforación en el momento de la voladura. Dado que la comunicación con la línea de visión es generalmente mucho más fiable, generalmente se prefiere mucho más confiar en la reflexión o la refracción de las ondas para la comunicación en el momento de la voladura. En la minería subterránea en particular, la preservación de la comunicación de línea de visión desde el transmisor de detonación hasta cada receptor en la boca del pozo de perforación es a veces difícil y puede ser imposible (por ejemplo, debido a las condiciones inseguras del terreno). La comunicación a través de la roca, que se puede denominar comunicación "a través de la tierra" (TTE, por sus siglas en inglés), puede tener ventajas para permitir que se lleve a cabo la voladura cuando el acceso a las bocas de los pozos que se van a volar pueda no ser cómoda, o no ser segura, o incluso no ser posible.

- 45 Los sistemas inalámbricos a través de la roca que se han descrito incluyen un detonador. En estos sistemas, los dispositivos receptores reciben las órdenes transmitidas magnéticamente en cada pozo de perforación. El dispositivo receptor envía a continuación una orden apropiada a un detonador eléctrico o electrónico, que funciona como el primer elemento de un tren de explosivos convencional. Una desventaja de este sistema es la inclusión del detonador, que se debe montar bien en fábrica o bien en el campo con el dispositivo receptor. Los detonadores generalmente contienen explosivos primarios que son más sensibles a la interferencia electromagnética (EMI), al calor, a la fricción, a las chispas y al impacto, tanto en su fabricación como en su utilización, que los explosivos secundarios. Por ejemplo, un cabezal fusible puede captar una señal electromagnética (EM), ya que generalmente tiene una protección EM deficiente, incluso aunque las partes electrónicas de un detonador estén protegidas EM. Los detonadores pueden

requerir manipulación, transporte y almacenamiento especiales, lo que se suma a la inconveniencia y el coste de utilizar detonadores como componentes esenciales.

5 Los sistemas de iniciación láser para la voladura pueden utilizar un láser fuera de un pozo de perforación y una fibra óptica para guiar la energía hacia un explosivo en el pozo de perforación, o un láser de diodo incluido con la electrónica de control conectada en el pozo de perforación; sin embargo, los sistemas láser existentes requieren conexiones eléctricas u ópticas del dispositivo de iniciación fuera del pozo de perforación y, por lo tanto, son propensos a fallar en algunas aplicaciones, por ejemplo, donde el material que rodea al dispositivo de iniciación se mueva antes de detonar (por ejemplo, debido a otras explosiones anteriores en la misma área), y puede contribuir con desechos indeseables de hilos o cables en un sitio de voladura.

10 Los documentos WO2012/061850 y US2013/098257 describen un artefacto iniciador para voladuras de tipo conocido.

Es necesario, al menos en algunas aplicaciones, simplificar los sistemas electrónicos de voladura y mejorar su seguridad.

Se desea abordar o mejorar una o más desventajas o limitaciones asociadas con la técnica anterior, o al menos proporcionar una alternativa útil.

### Resumen

15 De acuerdo con la presente invención, se proporciona una unidad de cebado de explosivos de acuerdo con la reivindicación 1.

La presente invención también proporciona un método de voladura de acuerdo con la reivindicación 8.

### Breve descripción de los dibujos

De ahora en adelante en la presente memoria se describen las formas de realización preferidas de la presente invención, sólo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

20 La Figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de voladura;

La Figura 2 es un diagrama de bloques de un artefacto de iniciación (IA) en el sistema de voladura;

La Figura 3 es un diagrama esquemático de una unidad de cebado de acuerdo con la invención, que incluye el IA; y

La Figura 4 es un diagrama de flujo de un método de voladura de acuerdo con la invención que utiliza el sistema de voladura.

### Descripción detallada

25 Panorama general

En la presente memoria se describe un sistema de voladura que proporciona iniciación inalámbrica a través de la roca e iniciación por luz en el pozo (o fotoiniciación) de un explosivo sensible a la luz. El sistema de voladura descrito permite la utilización de artefactos de iniciación con paquetes electrónicos que no contienen explosivos y, por lo tanto, son más seguros que los detonadores y similares, que incluyen explosivos. El artefacto de iniciación no se necesita fabricar en una fábrica de explosivos autorizada, y se puede fabricar, transportar y almacenar no como materiales peligrosos sino como cualquier otro artefacto electrónico. Por lo tanto, no es necesario unir cables de tiradas largas al artefacto de iniciación: la adición de cables de tiradas largas a los detonadores inalámbricos existentes puede aumentar su complejidad y coste de fabricación, transporte y almacenamiento. El sistema de voladura descrito no requiere conexiones cableadas del artefacto de iniciación enterrado. El sistema de voladura descrito no requiere el acceso a una boca de un pozo de perforación en el que el artefacto de iniciación está enterrado en el momento de la voladura. El artefacto de iniciación se puede controlar para iniciarse con una temporización programable en función del retardo en pozo, lo que puede proporcionar un frente de combustión controlado durante la voladura.

#### Sistema de voladura

40 Un sistema de voladura 100, según se muestra en la Figura 1, incluye varios artefactos de iniciación (IA) 200 (también denominados como "receptores" o "módulos de procesamiento en pozo") en el terreno 102. El terreno 102 puede incluir roca, tierra, etc. Cada IA 200 se configura para la voladura en una ubicación enterrada o "pozo" 104 correspondiente (por ejemplo, un pozo de perforación) colocando el IA 200 en un potenciador para formar una unidad de cebado 300 (que se puede denominar "cebo"), y cargando explosivo a granel 116 alrededor de la unidad de cebado 300 en el pozo 104. El pozo 104 proporciona una ubicación enterrada para que el IA 200 se entierre, por ejemplo, en roca, en tierra, en materiales de construcción, etc., dependiendo del sitio de aplicación.

45 El sistema 100 incluye un sistema de transmisión magnética 106 configurado para enviar señales a los artefactos de iniciación 200 a través del terreno 102. La comunicación inalámbrica a través del terreno (que se puede denominar comunicación a través de la tierra (TTE)); o comunicación inalámbrica a través de la roca para terreno que comprende principalmente roca) incluye la comunicación mediante la transmisión de señales inalámbricas a lo largo de trayectorias

de señal a través del terreno inalámbricas 118 a través del terreno 102, a través del explosivo a granel 116, a través de la unidad de cebado 300 y hacia el IA 200.

La comunicación inalámbrica a través del terreno se proporciona mediante el sistema 100 entre el sistema de transmisión 106 y los artefactos de iniciación 200 en sus respectivos pozos 104. Por ejemplo, en el momento de detonar, el sistema 100 puede proporcionar comunicación unidireccional desde el sistema de transmisión 106 y cada artefacto de iniciación 200 (o cada artefacto de iniciación 200 seleccionado) en su pozo 104 para iniciar el artefacto de iniciación 200 y por lo tanto una explosión.

El sistema 100 puede incluir una unidad codificadora 112 (por ejemplo, un ordenador portátil equipado con una interfaz adecuada) para programar los artefactos de iniciación 200 antes de instalarlos en los pozos 104. Las interfaces adecuadas pueden incluir un cable de bus serie universal (USB), un cable RS232, un acoplamiento óptico, un acoplamiento RF de corto alcance, etc.

#### Sistema de transmisión

El sistema de transmisión magnética 106 (también denominado como "transmisor") puede incluir un generador de señal 108 que se configura para enviar una corriente modulada hacia un bucle o bobina 110 conductora de baja resistencia. La bobina 110 puede incluir una bobina con una o más vueltas de un conductor capaz de transportar una gran corriente eléctrica modulada, por ejemplo, 50 amperios.

El sistema de transmisión 106 se configura para proporcionar un rango de transmisión seleccionado y una fuerza de campo seleccionada para las señales de comunicación magnética generadas por el sistema de transmisión 106. El rango de transmisión se selecciona en función de las condiciones de aplicación, por ejemplo: i) el tamaño previsto de una explosión utilizando los IA 200; ii) una sensibilidad predeterminada de los IA 200; y iii) el ruido magnético ambiental en un entorno dentro y alrededor del sistema 100 (es decir, el ruido magnético ambiental en el micro-Tesla o en un rango superior que sería detectado por los IA 200 en los pozos 104). La fuerza del campo magnético generado se puede controlar en función de un diámetro y un número de vueltas de las bobinas en la bobina 110, y una amplitud de la corriente que fluye a través de las bobinas. El número de vueltas en la bobina de la bobina de transmisión 110 puede ser pequeño, y puede ser uno. La amplitud de la corriente puede ser de decenas a cientos de amperios, por ejemplo, entre 10 amperios (A) y 1000 A. El diámetro de la bobina puede ser de decenas a cientos de metros, por ejemplo, entre 10 metros (m) y 1000 m. La bobina 110 puede comprender varias bobinas separadas alimentadas por una fuente de corriente compartida y el generador de señal 108: en una disposición multibobina de este tipo, las bobinas se disponen y configuran de tal manera que los campos magnéticos generados de las bobinas son aditivos, al tiempo que cada una de las bobinas es lo suficientemente pequeña para que se pueda transportar por una persona, por ejemplo, para la colocación por una persona. Las varias bobinas pueden tener diámetros entre 0,1 m y 10 m.

Las frecuencias en la corriente eléctrica modulada en la bobina 110, y por lo tanto las frecuencias en el campo magnético generado, pueden estar en un rango de 20 hercios (Hz) a 2500 Hz.

El generador de señal 108 incluye uno o más componentes de modulación electrónica (por ejemplo, circuitos, módulos, procesadores y/o memoria legible por computadora) configurados para modular señales para su transmisión mediante el campo magnético. Los componentes de modulación electrónica pueden proporcionar modulación en función de la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), modulación por ancho de pulso (PWM), modulación de amplitud (AM) y/o modulación de frecuencia (FM).

La modulación proporcionada se selecciona en función del tipo de receptor magnético 204 en el IA 200. Si el receptor magnético 204 incluye uno o más detectores inductivos, la modulación incluye una corriente alterna (CA) o una portadora oscilante para inducir corriente en el receptor magnético 204. Si el receptor magnético 204 incluye uno o más magnetómetros, la modulación es modulación cuasiestática para permitir la detección de los componentes cuasiestáticos del campo magnético generado.

El sistema de transmisión 106 puede incluir una fuente de energía eléctrica, incluyendo una conexión a la red eléctrica, generadores alimentados por combustible, y/o una batería de suministro, por ejemplo, generadores disponibles en el mercado o conjuntos de baterías de plomo-ácido.

El sistema de transmisión 106 puede incluir un controlador de explosiones 109 (que se puede denominar "volador" o "máquina de voladura") para controlar el generador de señal 108. El controlador de explosiones 109 se puede configurar para generar órdenes de voladura para que el generador de señal 108 las envíe al IA 200. El controlador de explosiones 109 puede incluir un dispositivo informático disponible en el mercado (por ejemplo, un ordenador personal) y un software de voladura.

El sistema de transmisión 106 puede incluir una interfaz de usuario (UI) para el funcionamiento del sistema 100. La UI puede incluir un panel frontal en una caja que aloja el generador de señal 108. La UI puede incluir un dispositivo portátil en comunicación electrónica (por ejemplo, utilizando un cable conductor, o comunicaciones ópticas, o transmisores y receptores de radiofrecuencia de corto o largo alcance) con el generador de señal 108.

El sistema de transmisión 106 se puede colocar tan cerca de la explosión como sea posible para minimizar las distancias a través del terreno entre el sistema de transmisión 106 y los IA 200. En algunas formas de realización, en

la proximidad cercana a la explosión, la caja puede disponer de protección, incluyendo una carcasa protectora, por ejemplo, una envolvente de acero.

5 La bobina 110 se puede fabricar para que sea desechable, lo que permite colocarla muy cerca de los pozos 104, o incluso entre ellos o alrededor de ellos. La bobina 110 se puede configurar para que sea desechable formando la bobina 110 utilizando elementos conductores de bajo coste, por ejemplo, con aislamiento diseñado para una sola utilización. Una bobina 110 colocada muy cerca de los pozos 104 puede requerir menos potencia de transmisión y, por lo tanto, menos capacidad de transporte de corriente, por lo tanto, se podrían utilizar elementos conductores de mayor impedancia en la bobina 110. Al destruir o dañar al menos parcialmente la bobina 110 durante la explosión, por ejemplo, debido al calentamiento de los elementos conductores y/o al impacto de la explosión, se reduce la posibilidad de que las órdenes se transmitan erróneamente a los IA 200 indeseables sin explotar.

#### Artefacto de iniciación

15 El artefacto de iniciación (IA) 200, según se muestra en la Figura 2, incluye una fuente de luz 215. La fuente de luz 215 puede estar en un borde o extremo del IA 200, terminando por lo tanto el IA 200. La fuente de luz 215 puede incluir uno o más diodos emisores de luz (LED), un diodo láser (LD) y dispositivos de flash de cámara. La fuente de luz se puede hacer funcionar en modo pulsado para producir al menos un pulso corto de luz de alta intensidad. El tiempo de reacción de un explosivo sensible a la luz (LSE) objetivo es corto, es decir, menos de 1 milisegundo, y preferiblemente menos de 100 microsegundos, para lograr un tiempo de voladura seleccionable al milisegundo más cercano. La fuente de luz 215 incluye un circuito de alimentación que recibe la potencia de los componentes electrónicos del IA 200. La fuente de luz 215 puede incluir elementos ópticos (por ejemplo, una lente o un sistema de lentes) que dirijan el pulso de luz para que impacte en el LSE con un tamaño y/o forma de punto seleccionados. Un ejemplo de fuente de luz puede ser un diodo láser comercialmente disponible configurado para funcionar cuando recibe una potencia máxima de 200 W y menos de 5 milijulios (mJ) de energía.

El artefacto de iniciación (IA) 200, según se muestra en la Figura 2, incluye los siguientes componentes electrónicos:

25 un componente de almacenamiento de energía a largo plazo 202 (que se puede denominar como "fuente de energía" para el IA 200), para almacenar energía eléctrica, por ejemplo, al menos una batería disponible comercialmente (por ejemplo, baterías "AAA" de 1,5 V cada una con al menos 1 kJ) o un condensador de larga duración con capacidad suficiente para alimentar la fuente de luz 215 y los componentes electrónicos en el IA 200;

30 el receptor magnético 204 (que se puede denominar como "componente receptor magnético") para detectar las señales magnéticas transmitidas proporcionadas por el campo magnético modulado en la ubicación del receptor magnético 204 (las señales magnéticas transmitidas se pueden denominar como que son transmitidas "en" el campo magnético);

un controlador IA 206 (que también se puede denominar como un componente controlador, un componente de procesador o un módulo), que incluye al menos un microprocesador, para demodular y decodificar las señales detectadas para generar instrucciones u órdenes electrónicas (que pueden ser señales de instrucciones digitales);

35 un almacén de datos 208, que se puede denominar como "componente de almacenamiento de información" (por ejemplo, que incluye al menos un dispositivo de almacenamiento electrónico de datos comercialmente disponible) para almacenar electrónicamente (por ejemplo, como datos digitales) al menos: un tiempo de retardo programable, un código tal como el identificador de grupo (GID) o el identificador individual (IID), etc., electrónicamente (por ejemplo, como datos digitales);

40 un componente de almacenamiento de energía a corto plazo 210 (por ejemplo, que incluye un condensador de detonación) para recibir (del almacenamiento de energía 202) y almacenar energía eléctrica en una forma apropiada (por ejemplo, al menos 5 mJ en un condensador) para permitir una descarga rápida que active la fuente de luz 215;

un temporizador 212, que se puede denominar como un componente de temporización para la cuenta atrás del tiempo de retardo (este proceso se denomina como una "cuenta atrás"); y

45 un interruptor 214 para desencadenar al menos un impulso de luz desde la fuente de luz 215 cuando expire la cuenta atrás (es decir, cuando finalice), suministrando corriente eléctrica a la fuente de luz 215 para iniciar el explosivo sensible a la luz (LSE).

El interruptor 214 puede ser un interruptor disponible en el mercado, por ejemplo, un dispositivo MOSFET.

50 La fuente de luz 215 y los componentes electrónicos 202 a 214 en el IA 200 se conectan eléctricamente mediante conductores eléctricos 218, por ejemplo, cables conductores o pistas conductoras en al menos una placa de circuito impreso.

55 El artefacto de iniciación 200 puede ser un dispositivo integrado con los componentes formando una unidad en el interior de la carcasa 216, según se muestra en la Figura 2. La fuente de luz 215 y los componentes electrónicos 202 a 214 en el IA 200 y los conductores 218 se pueden montar en un circuito impreso en una carcasa 216 del artefacto de iniciación 200. Alternativamente, los componentes del artefacto de iniciación 200 se pueden formar en el interior de varias carcasas separadas que estén conectadas para comunicarse eléctricamente entre sí. Los componentes 202-

215 dentro de la carcasa 216 o carcasas se pueden proteger de las condiciones adversas, especialmente de choques dinámicos, mediante componentes elásticos y no elásticos en la(s) carcasa(s) 216 y estructuras de sellado, por ejemplo, material de encapsulado de plástico o elastomérico que no se vuelva quebradizo cuando se someta a choques mecánicos, protegiendo por lo tanto los componentes 202-215 de los choques. En las formas de realización, la carcasa 216 se puede configurar con el fin de que sea lo suficientemente robusta para soportar las condiciones ambientales, tales como, por ejemplo, hasta aproximadamente 10 bar de presión hidrostática, un medio acuoso o fluido o explosivo granular, alto en nitrato de amonio y, a veces, con un pH de tan sólo 2, presiones de choque dinámicas procedentes de la detonación de pozos adyacentes de aproximadamente 100 a 1.000 bar y tiempos de retardo en el pozo de la orden de meses. En formas de realización, la carcasa 216 se puede moldear a partir de un polímero (por ejemplo, polipropileno). En algunas formas de realización, la carcasa 216 también puede incluir encamisado metálico (por ejemplo, acero) sobre algunos o todos los componentes para resistencia adicional.

El receptor magnético 204 incluye uno o más detectores de campo magnético. El receptor magnético 204 puede ser un receptor magnetointuctivo con uno o más detectores magnetointuctivos, por ejemplo, receptores magnetointuctivos disponibles en el mercado. El receptor magnético 204 puede ser un detector de campo magnético cuasiestático o un magnetómetro, que incluya uno o más detectores de magnetómetro, por ejemplo, dispositivos magnetorresistivos disponibles en el mercado. Los dispositivos magnetointuctivos pueden ser bobinas de alambre fino con un núcleo de ferrita. Dichos dispositivos, cuando se personalizan para los campos que se generan (por ejemplo, intensidades de campo particulares) pueden ser generalmente más sensibles que los dispositivos magnetorresistivos. El receptor magnético 204 puede incluir amplificadores electrónicos de bajo ruido y muy alta ganancia para amplificar las señales eléctricas de los detectores de campo magnético, por ejemplo, incluyendo los amplificadores operacionales disponibles en el mercado. El componente receptor 204, que incluye los detectores magnéticos, los amplificadores y uno o más procesadores de señal, puede, por ejemplo, recibir (es decir, detectar con una relación señal/ruido aceptable) una intensidad de campo magnético oscilante de la orden de aproximadamente 100 nano-Teslas o menos; en formas de realización, el rango puede ser de aproximadamente 1 nano-Tesla o menos.

El controlador IA 206 puede ser un procesador digital de señales (DSP) basado en un DSP comercialmente disponible configurado para demodular y decodificar la señal eléctrica amplificada del receptor magnético 204. Se pueden programar uno o más controladores lógicos programables (PLC) o circuitos integrados de aplicación específica (ASIC) para interpretar las señales entrantes como órdenes, y pueden iniciar una secuencia apropiada de eventos para cada orden. El controlador IA 206 puede incluir una máquina de estado con los siguientes estados: un modo de ahorro de energía, un modo de escucha activa, un modo de armado, un modo de carga y un modo de detonación.

Las siguientes órdenes entrantes pueden controlar el componente controlador 206 para realizar las siguientes tareas:

una orden WAKE UP: despierta del modo de ahorro de energía al modo de escucha activa;

una orden SYNCH: sincroniza un reloj en el controlador IA 206 con una hora en la orden;

una orden GID: compara las identidades de grupo (GID) de la orden con un GID almacenado del IA 200 (por ejemplo, almacenado en la memoria digital en el componente de almacenamiento de datos 208) para determinar si coinciden para armar el IA 200 para acciones posteriores moviéndose al modo de armado;

una orden IID o una orden ARM: compara una identidad individual (IID) almacenada en el IA 200 con uno o más ID de las órdenes entrantes, y si coinciden, arma el IA 200 para acciones posteriores moviendo la máquina de estado hacia el modo de armado;

una orden TIME DELAY: recibe y aplica correcciones a un tiempo de retardo en la orden para un grupo de IA 200 (con un GID común) o un IA 200 individual (basado en ID);

una orden CHARGE: genera una tensión de detonación para cargar el acumulador de corta duración 210 en el modo de carga; y

una orden FIRE: controla el temporizador 212 para iniciar una cuenta atrás del tiempo de retardo almacenado en el modo de detonación, lo que conduce a la detonación descargando la energía almacenada en el acumulador 210 en la fuente de luz 215.

El temporizador 212 se configura para tener un coeficiente de variación que sea igual o menor a aproximadamente el 0,1%, y preferiblemente igual a menos del 0,01%. El retardo de temporización se configura para tener un retardo de tiempo que se pueda seleccionar con una precisión de aproximadamente 1 ms. El temporizador 212 puede ser un componente de temporización disponible en el mercado, por ejemplo, un oscilador de cristal.

#### Codificador

El IA 200 se puede programar in situ mediante el codificador 112. El codificador 112 puede ser un dispositivo portátil que el usuario puede transportar fácilmente y que es adecuadamente resistente para las condiciones en minería. En las formas de realización, el codificador 112 puede enviar instrucciones al componente controlador 206 sin ningún reconocimiento u otra señal de retorno desde el componente controlador 206. En otras formas de realización preferidas, se puede producir una comunicación bidireccional entre el codificador 112 y el componente controlador 206. El canal para dicha comunicación puede ser un cable o dispositivos ópticos conectados al componente

controlador 206 que se conectan temporalmente al codificador 112, una conexión inalámbrica de corto alcance tal como Bluetooth®, un terminal en el exterior del componente controlador 206 que se acopla con un terminal en el codificador 112, o un acoplamiento óptico entre el componente controlador 206 y el codificador 112. Para poder establecer este canal óptico, tanto el codificador 112 como el componente controlador 206 se pueden equipar con un diodo emisor de luz (LED) y una fotocélula, por ejemplo, un LED y una fotocélula disponibles en el mercado conectados al controlador IA 206 y controlados por éste. En las formas de realización, el canal óptico puede evitar tener terminales eléctricos externos en el IA 200, que se podrían corroer en un ambiente químico severo, por ejemplo, en aplicaciones mineras. Un codificador de ejemplo se puede basar en un ordenador portátil comercial (por ejemplo, el Trimble NOMAD™) equipado con un adaptador externo que contiene un equipo de comunicaciones ópticas, y el ordenador portátil proporciona la interfaz de usuario.

La codificación de cada IA 200 se puede producir antes de la instalación en el pozo 104. Cada IA 200 se puede asociar únicamente con su pozo 104, o puede haber más de uno, a veces hasta diez, IA 200 por pozo 104. El codificador 112 envía al componente controlador 206 su tiempo de retardo (en milisegundos) y opcionalmente su GID, y recupera del componente controlador 206 su ID individual (programado en fábrica) y opcionalmente un informe de estado.

Puesto que el IA 200 por sí solo no contiene ningún explosivo, el funcionamiento utilizando el codificador 112 es seguro siempre que no se pueda someter al usuario a un impulso (o impulsos) accidental/es de luz de intensidad y/o duración perjudicial, por ejemplo, si el IA 200 está defectuoso. Disponer de un IA 200 sin explosivos permite realizar pruebas a plena potencia del IA 200, incluyendo la medición de la potencia y/o la duración del haz de luz desde la fuente de luz 215.

#### 20 Unidad de cebado

Una vez completada la codificación con el codificador 112, el IA 200 se acopla, utilizando un acoplamiento, a un potenciador que contiene el explosivo sensible a la luz (por ejemplo, en una cápsula) para formar la unidad de cebado 300 (que se puede denominar como "cebo") de la presente invención. El acoplamiento incluye medios para mantener limpias las superficies que forman la interfaz óptica y proporcionar un precinto que sea, en esencia, impermeable al medio ambiente en el pozo (por ejemplo, como mínimo, el precinto puede soportar una presión hidrostática de unos 10 bar). Esta unidad de cebado 300 se puede instalar en el pozo 104. Para pozos de perforación verticales, la instalación es preferiblemente por medio de una soga de modo que se evite la caída libre de la unidad de cebado 300.

Según se muestra en la Figura 3, la unidad de cebado 300 incluye:

- el IA 200;
- una cápsula explosiva 302 (también denominada como "cerilla") con el explosivo sensible a la luz (LSE);
- un conector 304 (por ejemplo, un conector de rosca de tornillo) que proporciona una interfaz mecánica para conectar el IA 200 a la cápsula 302;
- una ventana de sellado 306 entre la fuente de luz 215 y el LSE;
- un precinto 308 entre la cápsula 302 y el IA 200;
- un explosivo potenciador 310; y
- una carcasa para cebo 312 (también denominado como "caja" o "funda").

Un ejemplo de explosivos sensibles a la luz en la cápsula 302 puede ser el tetranitrato de pentaeritritol (PETN) que contiene negro de humo u otros explosivos secundarios tales como el Explosivo del Departamento de Investigación (RDX) u octágono o el Explosivo de Alta Fusión (HMX). El negro de humo puede ser un dopante eficaz a un nivel del 2% al 5% para que el PETN sea más sensible a la luz; la absorción de la luz visible e infrarroja y su conversión a calor enciende el PETN. La detonación se puede producir por medio de una transición de deflagración a detonación (DDT), que se puede desarrollar de manera más eficaz en condiciones de fuerte confinamiento. La cantidad y el tipo de explosivo sensible a la luz iniciado es suficiente para iniciar un tren de explosivos en una columna de explosivos comerciales y, por tanto, iniciar una explosión en la ubicación del artefacto de iniciación 200. En los experimentos, se ha comprobado que el tiempo previo a la detonación completa es inferior a 100 microsegundos sin sellar el extremo distal de la columna de PETN.

La cápsula 302 puede incluir un recipiente hueco para confinar, por ejemplo, un tubo de metal corto. El diámetro interno del tubo puede estar en el rango de 2 milímetros (mm) a 5 mm, y preferiblemente alrededor de 3 mm. La longitud del tubo se selecciona en función del explosivo que el PETN debe iniciar. Por ejemplo, el tubo de PETN se puede incrustar en un potenciador comercial, por ejemplo, que incluya Pentolita (la Pentolita puede incluir aproximadamente del 40 al 60% de TNT, siendo el equilibrio PETN), y una mezcla de Pentolita 50/50 puede ser preferible. La longitud de la columna de PETN prensada en el tubo puede estar en el rango de 10 a 20 mm para iniciar adecuadamente la Pentolita que le rodea íntimamente.

La superficie o el volumen del LSE, por ejemplo, en el extremo proximal de una columna de PETN dopada que se configura para ser iluminada por la fuente de luz 215, se puede sellar con el fin de lograr un DDT eficiente mediante

la ventana 306 y los precintos 308. La ventana 306 es transparente a las longitudes de onda de luz de la fuente de luz 215, por ejemplo, se pueden utilizar el cuarzo o el zafiro para el doble propósito de sellar y permitir el paso del pulso de luz. Una lente esférica de zafiro se puede utilizar como una ventana de sellado 306, por ejemplo, con un diámetro de aproximadamente 2,5 mm. La ventana 306 es preferiblemente extremadamente resistente, resistiendo la presión del evento DDT, y tiene excelentes propiedades ópticas (por ejemplo, alta transmisión, baja absorción y baja distorsión de la luz visible e infrarroja). La ventana 306 se puede unir en o al extremo proximal de la cápsula 302 o al IA 200 proporcionando una superficie mecanizada de precisión de una forma correspondiente a la forma de la lente esférica, y opcionalmente proporcionando un precinto fino entre el tubo metálico y la ventana (por ejemplo, la lente esférica). La ventana 306 puede incluir una lente óptica o sistema de lentes, seleccionada por su transparencia y las longitudes de onda de la fuente óptica 215, que enfoque (o desenfoque) el haz de luz en un volumen seleccionado del LSE (por ejemplo, la profundidad y el diámetro seleccionados). La ventana 306 puede incluir dos ventanas cooperantes, una en el IA 200 y la otra en la cápsula 302 que producen la ventana 306 cuando la cápsula 302 se acopla a un IA 200. La ventana 306 y el conector 304 y el precinto 308 forman un acoplamiento para conectar el IA 200 a la cápsula 302.

En una forma de realización, la fuente de luz 215 puede no ser un componente integral de la carcasa 216, pero se puede alojar dentro del explosivo potenciador 310, en asociación íntima con la ventana 306 y la cápsula 302. En esta forma de realización, la conexión del IA 200 con el potenciador para formar el cebo 300 implica formar una conexión eléctrica más que óptica entre los dos componentes del cebo 300: es decir, en esta forma de realización, el IA 200 puede incluir controladores electrónicos para la fuente de luz 215, pero no la propia la fuente de luz 215, hasta que se ensamble el IA 200 para formar el cebo 300. En esta forma de realización, el IA 200 incluye una interfaz electromecánica para controlar la fuente de luz 215, en función de la comunicación eléctrica del controlador IA 206, para generar el haz de luz para iniciar el explosivo sensible a la luz (LSE) de acuerdo con la orden de voladura. La fuente de luz 215 y las partes electrónicas del IA 200 se acoplan eléctrica y mecánicamente utilizando la interfaz electromecánica. La interfaz electromecánica incluye componentes eléctricos y mecánicos en el IA 200 que proporcionan conexiones equivalentes a las de la fuente de luz 215 y el interruptor 214. La interfaz electromecánica en el IA 200 puede incluir conectores (clavijas y enchufes eléctricos y una rosca de bayoneta o de tornillo), y la fuente de luz 215 (en su propia carcasa) puede incluir los conectores correspondientes (correspondientes a las clavijas y enchufes eléctricos y una rosca de bayoneta o de tornillo). La interfaz electromecánica para el acoplamiento a la fuente de luz puede incluir un precinto que sea resistente o a prueba de polvo y/o de agua. El precinto puede ser una tapa a través de la cual se extienden los conectores.

En aplicaciones de exploración sísmica, la carga de LSE puede iniciar un explosivo (por ejemplo, la Pentolita) para generar señales (ondas de choque) para su análisis para determinar características geológicas en la búsqueda de yacimientos de petróleo y de gas.

En formas de realización alternativas, el potenciador puede incluir o ser reemplazado por un cordón de detonación que a continuación se puede conectar a otros potenciadores de manera convencional.

### 35 Método de voladura

El sistema 100 puede proporcionar un método 400 de, o para, la voladura, que incluye las siguientes etapas, según se muestra en la Figura 4:

determinar las ubicaciones y los tiempos para la voladura en función de los requerimientos del patrón de explosiones preseleccionado (etapa 402);

40 comunicarse con cada artefacto de iniciación (IA) 200 utilizando el codificador 112 para grabar y fijar: Identidades individuales de IA, identidades de grupo de IA, retardos de tiempo, etc., en función de las ubicaciones y los tiempos determinados (etapa 404);

colocar el IA 200 en el potenciador para formar la unidad de cebado 300 (etapa 406);

colocar el cebo 300 en la ubicación del terreno 104 (etapa 408);

45 cargar explosivo 116 alrededor del cebo 300, retacar el pozo con el material de retacado 114 (etapa 410);

en el momento de la voladura, prepararse para detonar utilizando el sistema de transmisión 106 (etapa 412);

transmitir señales magnéticas a través del terreno 102 desde el sistema de transmisión 106 a los IA 200 (etapa 414) incluyendo una o más de las órdenes, por ejemplo, wake-up, synch, time-delay, arm y fire;

recibir las señales magnéticas mediante los IA 200 (etapa 416);

50 detectando el receptor magnético 204 la señal magnética y amplificando la señal magnética (etapa 418);

decodificando el controlador IA 206 la señal para determinar las instrucciones electrónicas, reconociendo la orden de detonación y poniendo en marcha el temporizador 212 para la cuenta atrás del tiempo de retardo (etapa 420);

activando a continuación el temporizador 212 el interruptor 214 (etapa 422);

## ES 2 755 426 T3

activando el interruptor 214 el pulso de luz descargando el acumulador de corta duración 210 en la fuente de luz 215 (etapa 424);

pasando el pulso de luz a través de la ventana 306 hacia el LSE provocando la deflagración (etapa 426);

5 transitando el LSE a la detonación, iniciando la explosión; y varios IA se pueden iniciar en una secuencia seleccionada (etapa 428); y

la bobina de transmisión 110 puede quedar inutilizada por la explosión después de transmitir la orden de detonación (etapa 430).

Interpretación

10 Muchas modificaciones serán evidentes para los expertos en la técnica sin apartarse del alcance de la presente invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Una unidad de cebado de explosivos (300) que incluye un artefacto iniciador IA (200) para voladuras, un artefacto explosivo con explosivo sensible a la luz (LSE) con un tiempo de reacción inferior a 1 milisegundo acoplado al IA (200), y un explosivo potenciador (310) alrededor del LSE, en donde el IA incluye:
- 5 un receptor magnético (204) que incluye un magnetómetro para recibir una señal de comunicación magnética a través del terreno mediante la detección de un campo magnético;
- un controlador (206), en comunicación eléctrica con el receptor magnético (204), para procesar la señal de comunicación magnética para determinar una orden para la voladura;
- 10 una fuente de luz (215) en comunicación eléctrica con el controlador (206) para generar un haz de luz que inicie el explosivo sensible a la luz (LSE) de acuerdo con la orden.
2. La unidad de cebado de explosivos (300) de la reivindicación 1, en donde el IA (200) incluye una carcasa (216) alrededor del receptor magnético (204), el controlador (206) y la fuente de luz (215) para proporcionar protección mecánica y para enterrar el IA (200),
- 15 en donde la carcasa incluye un manguito metálico alrededor del receptor magnético (204), el controlador (206) y la fuente de luz (215),
- en donde la carcasa incluye material de encapsulado alrededor del receptor magnético (204), el controlador (206) y la fuente de luz (215),
- en donde el material de encapsulado incluye material de encapsulado plástico y/o material de encapsulado elastomérico.
- 20 3. La unidad de cebado de explosivos (300) de la reivindicación 1 o 2, en donde el IA (200) incluye un acoplamiento para conectar el artefacto iniciador IA (200) al artefacto explosivo (LSE), en donde el acoplamiento incluye:
- una ventana (306) para transmitir el haz luminoso desde la fuente de luz (215) al artefacto explosivo (LSE);
- un conector (304) para conectar mecánicamente el IA (200) al artefacto explosivo (LSE); y
- 25 un precinto (308) para sellar una trayectoria de luz desde la fuente de luz (215) hacia el artefacto explosivo (LSE) para el haz de luz,
- en donde el artefacto explosivo (LSE) incluye una cápsula explosiva (302) con el LSE,
- en donde el artefacto explosivo (LSE) se configura para montarse en el explosivo potenciador (310) para detonar una carga principal de explosivo a granel alrededor del explosivo potenciador (310).
- 30 4. La unidad de cebado de explosivos (300) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la orden es una orden FIRE.
5. La unidad de cebado de explosivos (300) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la orden incluye un código de orden y el controlador (206) incluye instrucciones que controlan el controlador (206) para: (i) comparar el código de control con un código almacenado guardado en el IA (200), y (ii) controlar la fuente de luz (215) para generar el haz luminoso si el código actual coincide con el código almacenado,
- 35 en donde el controlador (206) se configura para recibir el código almacenado de una unidad de codificador (112) antes de enterrar el IA (200),
- en donde el código de orden incluye un código de identificador de grupo (GID) para un grupo de IA seleccionados.
6. La unidad de cebado de explosivos (300) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el receptor magnético (204) incluye un detector magnetointuctivo.
- 40 7. La unidad de cebado de explosivos (300) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la fuente de luz (215) incluye un diodo emisor de luz,
- un láser de diodo, y/o
- un dispositivo de flash de cámara.
8. Un método de voladura, incluyendo el método las etapas de:
- 45 recibir una señal de comunicación magnética a través del terreno mediante la detección de un campo magnético por un magnetómetro;

procesar la señal de comunicación magnética para determinar una orden para un IA (200) para la voladura; y

generar un haz de luz para iniciar un explosivo sensible a la luz (LSE) con un tiempo de reacción inferior a 1 milisegundo de acuerdo con la orden.

5 9. El método de la reivindicación 8, en donde el campo magnético es un campo magnético cuasiestático o un campo magnético oscilante.

10. La unidad de cebado de explosivos (300) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7,

en donde el LSE es tetranitrato de pentaeritritol (PETN) y contiene el 2% de negro de carbono, y/o

en donde el tiempo de reacción del LSE es inferior a 100 microsegundos, y/o

10 que incluye un conector para conectar el IA (200) a una cápsula con la LSE, preferiblemente en donde el conector es un conector de rosca de tornillo o un conector de bayoneta.

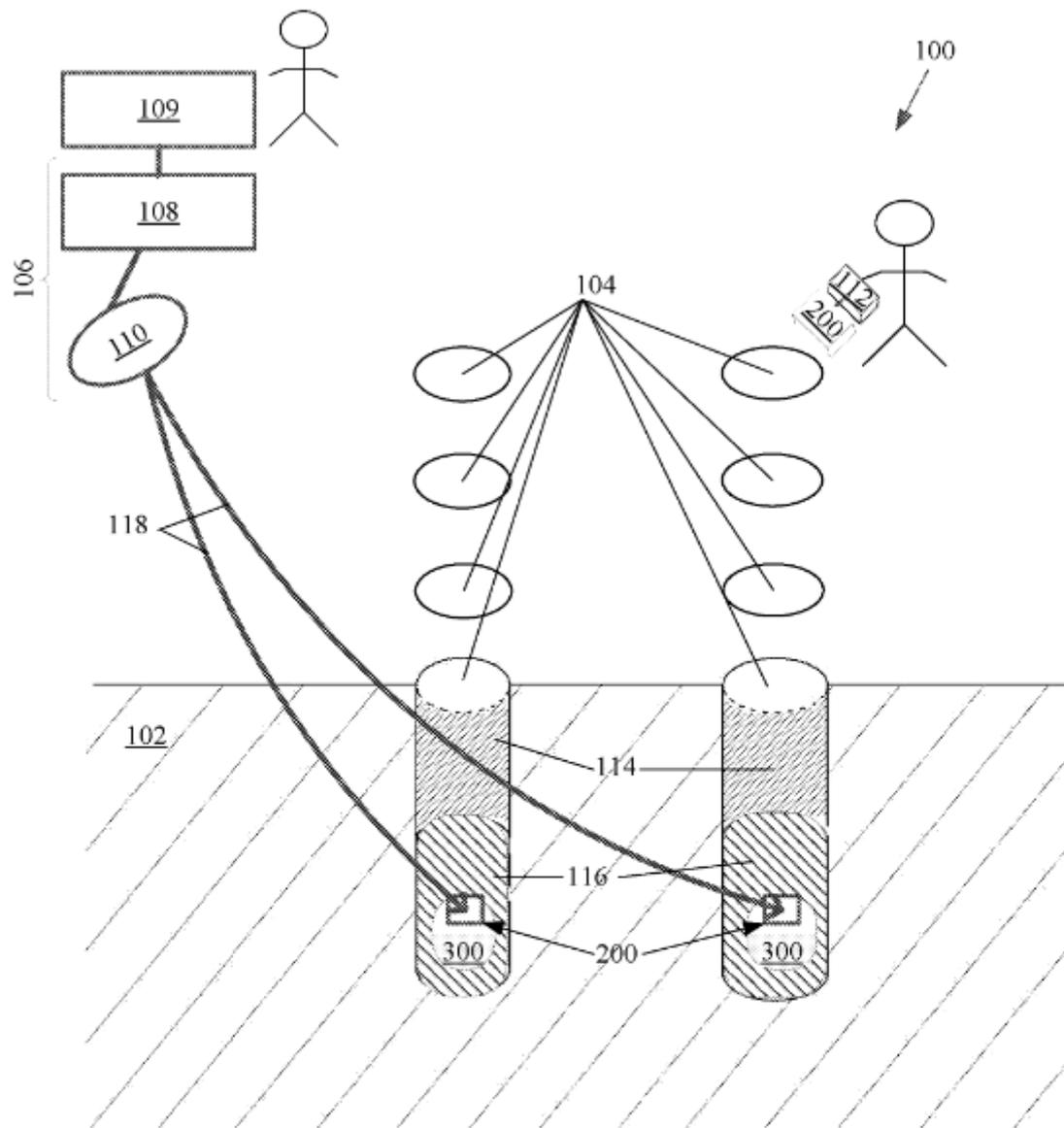


Figura 1

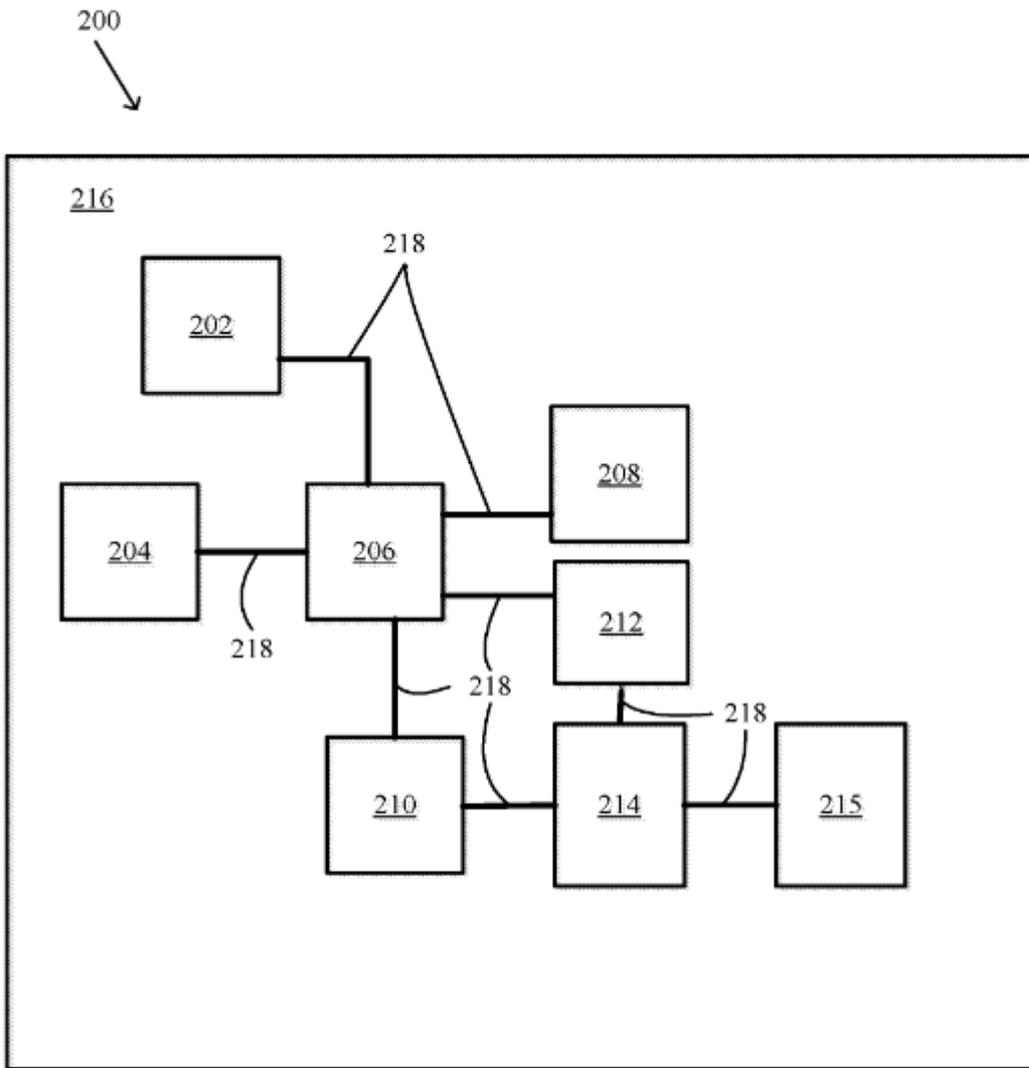


Figura 2

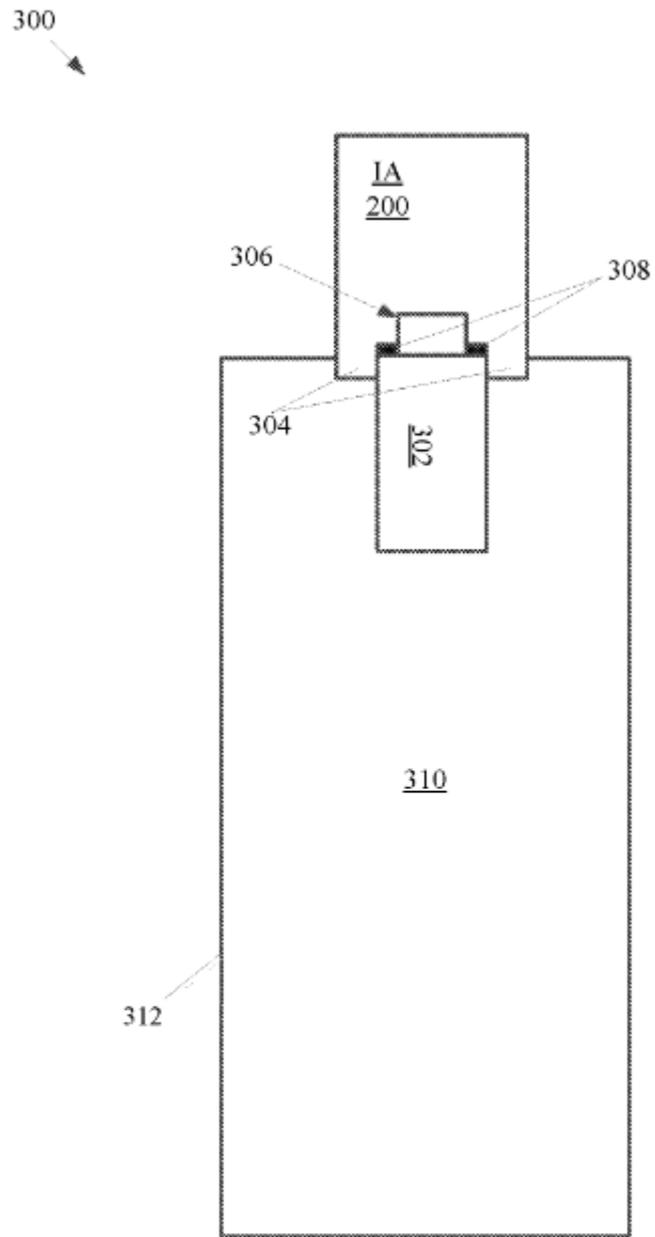


Figura 3

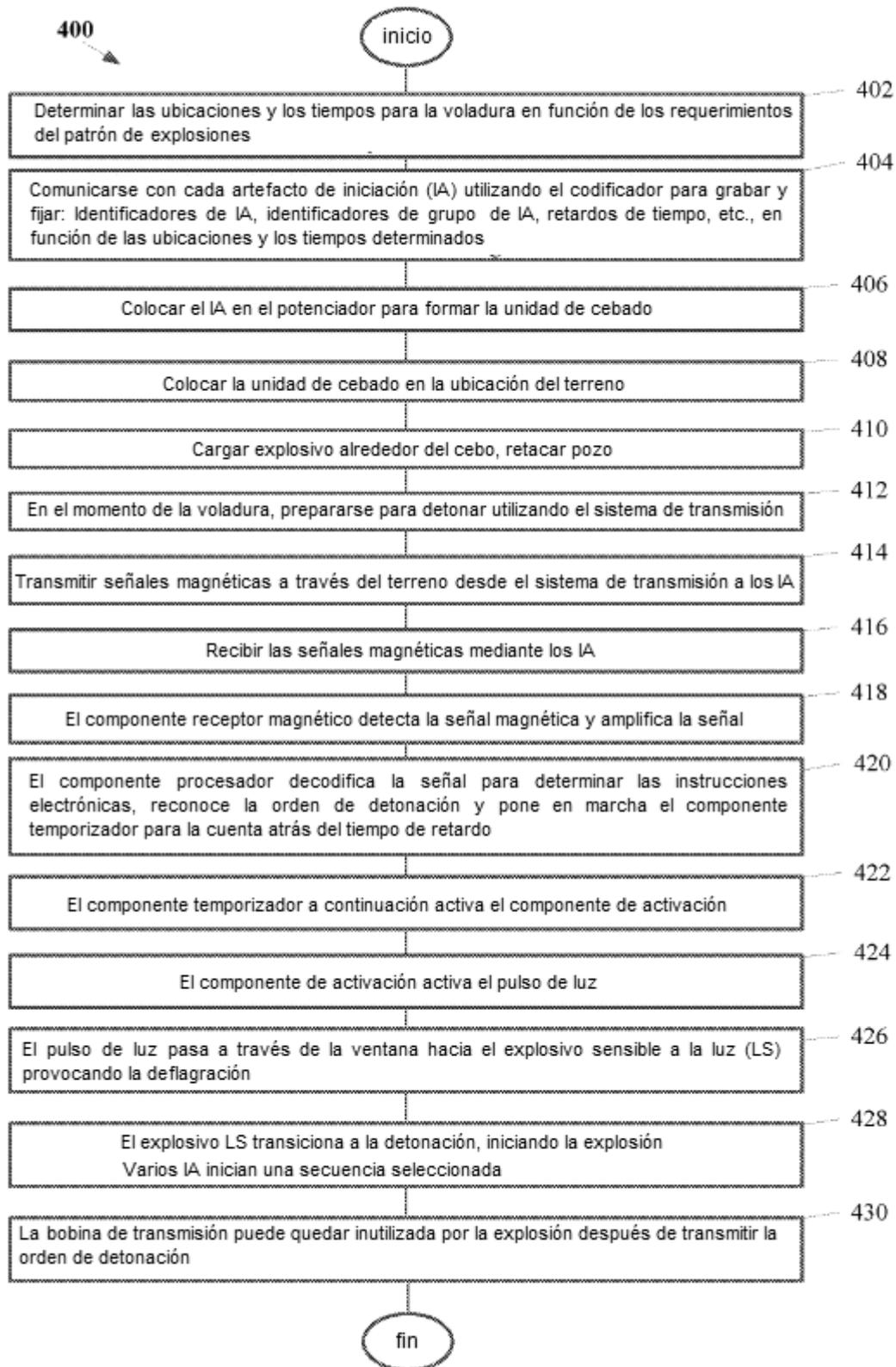


Figura 4