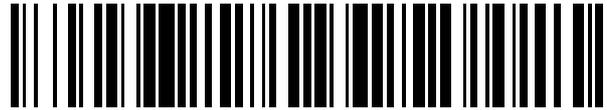


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 514**

51 Int. Cl.:

**F42D 1/05** (2006.01)

**F42C 15/42** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.03.2015 PCT/AU2015/050121**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.10.2015 WO15143501**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2015 E 15767774 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2019 EP 3123103**

54 Título: **Aparato, sistema y método para voladura usando señal de comunicación magnética**

30 Prioridad:

**27.03.2014 AU 2014901099**

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

**19.02.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KOTSONIS, STEVEN y  
WICKS, BYRON**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 743 514 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**

Aparato, sistema y método para voladura usando señal de comunicación magnética

5 Solicitud relacionada

La presente solicitud está relacionada con la Solicitud Provisional de Australia N.º 2014901099, presentada el 27 de marzo de 2014 en el nombre de Orica International Pte Ltd.

10 Campo técnico

La presente invención se refiere en general a métodos de voladura, sistemas de voladura electrónicos inalámbricos (WEBS), y comunicación electrónica con aparatos de iniciación (IA) en tales WEBS. Un método de voladura de la técnica conocida se desvela en el documento WO 2012/061850 A1.

15 Las realizaciones de la invención pueden usarse en muchas aplicaciones que incluyen, por ejemplo, minería de superficie, minería subterránea, canteras, construcción civil, y/o exploración sísmica en tierra o en el océano.

Antecedentes

20 Los sistemas de voladura electrónicos se usan ampliamente en minería y exploración para proporcionar voladuras y patrones de voladura de explosivos controlados altamente precisos.

25 En aplicaciones de voladura, los detonadores electrónicos convencionales pueden comunicar con un sistema de control de voladura, por ejemplo, una máquina de voladura, usando enlaces de comunicación alámbrica o inalámbrica. En sistemas inalámbricos de voladura existentes, el segmento inalámbrico de la ruta de comando a menudo se encuentra por encima del suelo de modo que las señales de radio pueden pasarse de la máquina de voladura a los receptores inalámbricos por encima del suelo y desde ahí mediante un alambre en la perforación hasta un dispositivo de iniciación electrónico en la perforación. En tales casos, la comunicación bidireccional entre la máquina de voladura y la electrónica en el orificio permite que los aparatos de diagnóstico externos a la perforación interroguen un dispositivo en el orificio en cuanto a su condición. Tal comunicación bidireccional puede permitir que se ensaye la condición del dispositivo en el orificio, y cualesquiera instrucciones (por ejemplo, un retardo de temporización) que se han enviado para que se confirmen al dispositivo en el orificio (por ejemplo, usando una comprobación de redundancia cíclica).

35 Se ha propuesto un método de comunicación entre un dispositivo de iniciación electrónico en el orificio y una máquina de voladura usando señales magnéticas y sensores magnéticos; sin embargo, los sistemas basados en campo magnético para voladura típicamente necesitan equipo de transmisión de alta potencia relativamente grande para generar fluctuaciones de campo magnético de suficiente intensidad para comunicar con dispositivos en el orificio a través de un campo de voladura típico: por ejemplo, varios cientos de metros. Puede ser práctico proporcionar equipo de transmisión suficientemente potente para una máquina de voladura por encima del suelo o en áreas de acceso subterráneas; sin embargo, en general no es práctico proporcionar un dispositivo en el orificio con la antena y potencia necesarias para comunicar de vuelta con una máquina de voladura usando una señal magnética. Por consiguiente, una vez que se ha desplegado una unidad en el orificio, las porciones por encima del suelo del sistema magnético pueden no poder descubrir el estado o condición de las unidades en el orificio, o confirmar que una unidad en el orificio ha recibido correctamente información que se le ha enviado.

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

Sumario

55 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un aparato de iniciador (IA) para voladura de acuerdo con la reivindicación 1.

La presente invención proporciona también un sistema de voladura electrónico inalámbrico (WEBS) que incluye el IA.

La presente invención proporciona también un método de voladura de acuerdo con la reivindicación 13.

60 Breve descripción de las figuras

Se describen en lo sucesivo realizaciones preferidas de la presente invención, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

65 La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de voladura electrónico inalámbrico (WEBS) que incluye uno o más aparatos de iniciación (IA);

La Figura 2 es un esquema de los IA en perforaciones desde una superficie y una retransmisión en una de las perforaciones;

5 La Figura 3 es un esquema de los IA en perforaciones desde una superficie y una retransmisión en la superficie;

La Figura 4 es un esquema de los IA en perforaciones fuera de un túnel con una pluralidad de estaciones de retransmisión; y

10 La Figura 5 es un esquema de los IA en perforaciones fuera de un túnel con una única estación de retransmisión.

#### Descripción detallada

#### Definiciones

15 Como se describe en el presente documento, un sistema de voladura electrónico inalámbrico (WEBS) para voladura puede ser un sistema para controlar e iniciar una voladura, por ejemplo, usando explosivos enterrados en minería de superficie, minería subterránea, canteras, construcción civil, y/o exploración sísmica sobre o en tierra o en el océano.

20 Un aparato de iniciación (IA) como se usa en el presente documento puede denominarse como un aparato de iniciación inalámbrico, un dispositivo de iniciación inalámbrico (si es una unidad de una pieza en un alojamiento), un receptor inalámbrico, o, si se pretende que se destruya por la voladura, un receptor desechable ("DRX").

25 El término "tierra" como se usa en el presente documento puede hacer referencia a tierra, suelo, roca, terreno, arena, y/o materiales de construcción, por ejemplo, hormigón / cemento, etc., en los que el IA puede enterrarse o colocarse para voladura en explosivos en minería de superficie, minería subterránea, canteras, construcción civil, y/o exploración sísmica sobre tierra o en el océano.

30 Los sensores magnéticos como se usa en el presente documento pueden denominarse como "detectores" o "magnetómetros" y pueden operar basándose en inducción magnética (MI) (de acuerdo con la ley de Faraday) o como detectores de campo magnético casi estático (por ejemplo, sensores magneto-resistivos o medidor de Gauss). "Detección" el campo magnético puede denominarse también como "medir" o "detectar". Los sensores de campo magnético pueden ser magnetómetros triaxiales.

35 Un sistema de transmisor magnético y un sistema de receptor magnético como se describen en el presente documento operan basándose en modulación de campos magnéticos generados por el sistema de transmisor magnético y se detectan por los sensores magnéticos en el sistema de receptor magnético. La modulación de campo magnético puede incluir frecuencias, según se mide en hercios (Hz), de aproximadamente 50 Hz, menos de aproximadamente 50 Hz, entre aproximadamente 5 Hz y 50 Hz, o por debajo de aproximadamente 5 Hz.

40 La expresión receptor electromagnético (EM), transmisor de EM, señal o señales de EM, intervalo de EM, frecuencias de EM, y propagación de EM hacen referencia al uso de técnicas de modulación y detección de frecuencia de radio (RF) de campo lejano, como es conocido en la técnica. En las realizaciones, el receptor de EM, transmisor, y/o transceptor utilizan frecuencias de radio (RF). En las realizaciones, las frecuencias de EM incluyen frecuencias en el intervalo de 300 Hz a 300 gigahercios (GHz). Las frecuencias de EM pueden incluir frecuencias ultra bajas (ULF) en el intervalo de 300 Hz a 3000 Hz. Las frecuencias de EM pueden incluir frecuencias muy bajas (VLF) en el intervalo de 3 a 30 kilohercios (kHz). Las frecuencias de EM pueden incluir frecuencias bajas (LF) en el intervalo de 30 a 300 kHz. Las frecuencias de EM pueden encontrarse por debajo de 120 kHz. Las frecuencias de EM pueden encontrarse por debajo de 70 kHz. Las frecuencias de EM pueden encontrarse por encima de 1 kilohercio (kHz) o por encima de 20 kHz. Las frecuencias de EM pueden incluir 50 kHz.

55 Las expresiones "comunicación alámbrica", "enlace de comunicación alámbrica" y "conexión alámbrica", como se usan en el presente documento, se refieren en general al uso de un alambre conductor, conductor eléctrico, cable u otra conexión similar para transmitir señales desde un transmisor a un receptor (o entre transceptores) a través de una distancia. Las expresiones "comunicación inalámbrica", "enlace de comunicación inalámbrica" y "conexión inalámbrica", como se usan en el presente documento, hacen referencia en general a transmitir señales desde un transmisor a un receptor (o entre transceptores) a través de una distancia usando campos magnéticos y/o eléctricos, ondas electromagnéticas (incluyendo ondas de frecuencia de radio), u ondas acústicas/sísmicas, permitiendo por lo tanto las comunicaciones del transmisor inalámbrico al receptor inalámbrico (o entre transceptores inalámbricos) sin la necesidad de formar una conexión física duradera (por ejemplo, un alambre o conductor) entre ellos. Un receptor como se describe en el presente documento funciona para recibir señales alámbricas o inalámbricas, datos, o transmisiones. Un transmisor como se describe en el presente documento funciona para enviar señales alámbricas o inalámbricas, datos, o transmisiones. Un transceptor como se describe en el presente documento puede funcionar como un receptor o transmisor o puede realizar ambas funciones.

65

#### Sistema de voladura electrónico inalámbrico (WEBS)

Como se representa en la Figura 1, un WEBS 100 incluye una estación 114 base, un sistema de transmisor magnético (MTS) 118, al menos un aparato de iniciación (IA) 102, y al menos un sistema de receptor electromagnético (ERS) 108. Estos componentes pueden estar configurados de diversas maneras y comunicar *mediante* diversos canales para formar el WEBS 100.

La estación 114 base comunica con el MTS 118 *mediante* comunicación alámbrica o inalámbrica a lo largo de un enlace 103 inicial. El MTS 118 comunica al uno o más IA 102 *mediante* señales magnéticas a lo largo de un enlace 104 directo. El IA 102 está configurado para recibir las señales magnéticas y, si fuera necesario, responder de vuelta a la estación 114 base *mediante* el ERS 108 a lo largo de un enlace 106 de regreso usando señales inalámbricas, particularmente señales de EM basadas en propagación de EM. Las señales de EM se usan para transmitir datos digitales electrónicos en paquetes. El IA 102 está configurado para enviar datos de respuesta al ERS 108: estos datos de respuesta se generan en respuesta a comandos de la estación 114 base, como se describe en más detalle en lo sucesivo. Como consecuencia, estas señales de EM pueden denominarse también como "señales de respuesta". En algunas realizaciones, la estación 114 base puede estar configurada para comunicar *mediante* el enlace 107 de base al ERS 108, y el ERS 108 puede estar configurado adicionalmente para transmitir comunicaciones al IA 102 a través del enlace 106 de regreso.

Como se ha indicado anteriormente, en el WEBS 100, el uno o más IA 102 están localizados en una o más respectivas perforaciones en la tierra, y reciben comunicaciones de la estación 114 base *mediante* el MTS 118 y, en algunas realizaciones, de la estación 114 base *mediante* el ERS 108. Los IA 102 pueden estar en respectivas perforaciones separadas, o una perforación puede incluir una pluralidad de columnas de explosivo, separadas por material derivado, cada uno con un IA 102. Cada IA 102 incluye un alojamiento 129 alrededor de un cuerpo principal del IA 102 (que incluye todos o la mayoría de los componentes), y el alojamiento está configurado para permitir la inserción y enterramiento en una perforación, y puede tener un diámetro de menos de 100 mm, o alrededor de 60 mm. Cuando la estación 114 base envía las comunicaciones a través del enlace 103 inicial al MTS 118, el MTS 118 a continuación envía las comunicaciones *mediante* el enlace 104 directo generando y modulando un campo magnético que extiende el TTE a un sistema de receptor magnético (MRS) 120 del IA 102. Las comunicaciones del MTS 118 incluyen comandos de iniciación, y pueden incluir comandos no de iniciación. En algunas realizaciones, la estación 114 base puede enviar comandos no de iniciación *mediante* el enlace 107 de base al ERS 108 y en el IA 102 *mediante* el enlace 106 de regreso. Los comandos de iniciación y no de iniciación se describen en lo sucesivo.

Como se representa en la Figura 1, el ERS 108 (que puede denominarse como un "repetidor") incluye al menos un módulo 110 receptor de retransmisión que puede detectar las señales de EM del IA 102 *mediante* el enlace 106 de regreso, y una o más estaciones 112 de retransmisión en comunicación con cada módulo 110 receptor de retransmisión (*mediante* un enlace alámbrico o inalámbrico) usando un enlace 109 inter-repetidor. En las realizaciones, el enlace 106 de regreso puede ser bidireccional (y puede denominarse como un "enlace de comunicaciones de regreso bidireccional") y el ERS 108 pueden incluir un transmisor de EM o transceptor de EM (en el módulo 110 receptor de retransmisión) para transmitir señales de EM a lo largo del enlace 106 de regreso al IA 102. Por lo tanto, el módulo 110 receptor de retransmisión puede funcionar como un transceptor, tanto recibiendo como enviando información a lo largo del enlace 106 de regreso.

Un intervalo de transmisión eficaz del TTE de señales de EM a lo largo del enlace 106 de regreso (es decir, del IA 102 al ERS 108) denominado como un intervalo 132 de EM puede ser de hasta 100 metros (m) en algunas tierras, o de hasta 50 m, 25 m o 20 m en otras tierras. Las frecuencias de EM operacionales en las señales de EM pueden seleccionarse basándose en una pérdida de ruta máxima requerida (por ejemplo, 40 decibelios o dB), y un intervalo de transmisión eficaz requerido, para un coeficiente de absorción de la tierra. La frecuencia de EM puede ser una frecuencia de RF entre 1 kHz y 120 kHz, entre 20 kHz y 70 kHz, o alrededor de 50 kHz, como ha mencionado en este punto anteriormente.

El WEBS 100 puede estar configurado para uso superficial (por ejemplo, en minería de superficie), como se muestra en las Figuras 2 y 3. Un sitio de mina puede incluir un banco de minería abierto con perforaciones 130 taladradas verticalmente. Cada IA 102 puede cebarse con un amplificador antes de cargarse en una de las perforaciones 130. Los IA 102 pueden estar en perforaciones separadas, o una perforación puede ser una columna de explosivo con una pluralidad de los IA 102. Después de cargar los IA 102, se carga explosivo en bruto en los orificios 130. El módulo 110 receptor de retransmisión se despliega en el sitio en el intervalo 132 de EM de los IA 102. El módulo 110 receptor de retransmisión se despliega en uno de los orificios 130, como se muestra en la Figura 2, o en la superficie, como se muestra en la Figura 3. Si se despliega en la superficie, el módulo 110 receptor de retransmisión y la estación 112 de retransmisión pueden desplegarse después de que la voladura haya despegado el tráfico del sitio, *etc.*, para facilidad de colocación de cable (incluyendo el enlace 109 inter-repetidor).

En las realizaciones, el WEBS 100 puede estar configurado para uso de túnel (por ejemplo, en minería subterránea), como se muestra en las Figuras 1D y 1E. En uso de túnel, el módulo 110 receptor de retransmisión se coloca en un túnel 134 en el intervalo 132 de EM para todos de un grupo de los IA 102. El túnel 134 puede incluir una pluralidad de los módulos 110 de receptor de retransmisión, por ejemplo, colocados a lo largo del túnel 134, o colocados en respectivos orificios 130 fuera del túnel 134, como se muestra en la Figura 3. El túnel 134 puede incluir un único

módulo receptor de retransmisión colocado en una porción principal del túnel 134, como se muestra en la Figura 4. Los módulos 110 de receptor de retransmisión pueden conectar *mediante* el enlace 109 inter-repetidor cables a la estación 112 de retransmisión a una distancia segura de los IA 102.

## 5 Estación base y sistema de transmisor magnético (MTS)

10 Como se ha indicado anteriormente, la estación 114 base puede comunicar con el MTS 118 *mediante* señales alámbricas o señales inalámbricas (incluyendo señales de EM). El MTS 118 puede estar localizado con la estación 114 base, por ejemplo, en una superficie por encima de una mina subterránea en una localización segura. El MTS 118 puede comunicar al IA 102 usando las señales magnéticas, que pueden ser señales de magneto-inducción (MI). La estación 114 base puede incluir un transmisor alámbrico o inalámbrico para transmitir las señales alámbricas o inalámbricas al MTS 118. La estación 114 base puede tener también un receptor alámbrico o inalámbrico, receptor y transmisor, o transceptor para la recepción de comunicación a lo largo del enlace 107 de base del ERS 108, y, en las realizaciones, devolver la comunicación de la estación 114 base al ERS 108.

15 Cualquier MTS 118 adecuado puede usarse para transmitir las señales magnéticas. El MTS 118 puede incluir una fuente de corriente y una o más bobinas conductoras suficientes para generar un campo magnético en la tierra en la localización del IA 102, y/o en localizaciones de todos los IA 102 en un patrón de voladura preseleccionado. El campo magnético en la localización del IA 102 puede modularse para representar un comando específico, y el IA 102 puede estar configurado para demodular la señal de comunicación magnética para determinar el comando. Para fines de seguridad, la señal de comunicación magnética puede codificarse usando un esquema de codificación predeterminado, y decodificarse por el controlador usando el esquema de codificación predeterminado.

20 Los comandos (que pueden denominarse como "comandos de voladura" o "instrucciones") de la estación 114 base para comunicación al IA 102 pueden incluir, por ejemplo, uno cualquiera o más de lo siguiente:

25 un comando de ping que da la instrucción al IA 102 para generar una respuesta de detección de ping (en los datos de respuesta) que representa que el comando de ping se ha recibido por el IA 102, y/o que la condición del IA 102 es satisfactoria para el disparo posterior;

30 un comando de diagnóstico que da la instrucción al IA 102 para generar y enviar datos de diagnóstico en los datos de respuesta (los datos de diagnóstico se describen en detalle adicional en lo sucesivo), en el que pueden usarse diferentes comandos de diagnóstico para respectivos diferentes estados de diagnóstico;

35 un comando de retardo de respuesta que da la instrucción al IA 102 para retardar durante un tiempo de retardo de respuesta seleccionado (seleccionado por la estación 114 base) antes de transmitir los datos de respuesta a través del enlace 106 de regreso;

40 un comando de sincronización (sync) de tiempo con datos que da instrucción al IA 102 para sincronizar su reloj o temporizador con un tiempo de estación base (este puede sincronizar los relojes de todos los IA 102);

un comando de retardo de tiempo, que proporciona un tiempo seleccionado o retardo de tiempo, determinado basándose en un patrón de voladura, para que el IA 102 cuente antes de iniciar su explosivo;

45 un comando de armado para armar el IA 102;

un comando de disparo, para que el IA 102 comience una cuenta atrás para su iniciación; y

50 se usan otros comandos en sistemas de voladura electrónicos existentes (por ejemplo, el sistema i-kon™ de Orica).

Cualquier comando puede incluir un identificador de iniciador (IID) que identifica uno de los IA 102 en el patrón de voladura, y el IA 102 identificado pueden generar y enviar datos de respuesta relevantes si tiene un IID almacenado que coincide con el IID de comando. Como alternativa, o adicionalmente, cualquier comando puede incluir un ID de grupo (GID) tal como se describe en la Publicación de Solicitud de Tratado de Cooperación de Patente N.º WO2010085837 (titulada: "Selective Control Of Wireless Initiation Devices At A Blast Site").

60 Los IA 102 que coinciden con el GID en el comando puede generar y enviar datos de respuesta relevantes al ERS 108. Los comandos de iniciación son aquellos que conducen a la iniciación o detonación del explosivo 116, por ejemplo, el comando de disparo. Los comandos no de iniciación son aquellos que no cubren la iniciación o detonación, y son por lo tanto menos peligrosos de enviar, por ejemplo, el comando de ping, el comando de diagnóstico, los comandos de control de retardo de respuesta, el comando de sincronización de tiempo.

## Aparato de iniciación (IA)

65 Como se muestra en la Figura 1, el IA 102 puede incluir: un sistema de receptor magnético (MRS) 120, que incluye uno o más sensores de campo magnético para detectar las señales de comunicación de TTE magnéticas; un

controlador de voladura electrónico (que incluye al menos un microcontrolador electrónico), que se denomina como un "sistema de controlador de voladura" (BCS) 122, conectado al MRS 120 para recibir los comandos enviados usando el enlace 104 directo, y para controlar funciones del IA 102; un almacenamiento 124 de energía eléctrica (por ejemplo, una batería y/o condensador) para alimentar los componentes del IA 102; un componente 126 de iniciación conectado al menos indirectamente al BCS 122; y un explosivo 116 (por ejemplo, una carga de amplificador) que puede iniciarse por la energía almacenada del almacenamiento 124 electrónico. El MRS 120 está configurado para detectar la señal de comunicación magnética, y para generar una correspondiente señal electrónica para el BCS 122: el BCS 112 está configurado entonces, basándose en instrucciones y códigos electrónicos almacenados, para determinar el comando de la correspondiente señal.

El componente 126 de iniciación puede ser un detonador que recibe una carga eléctrica del almacenamiento 124 eléctrico, o una fuente electromagnética u óptica que enciende el explosivo 116 usando potencia dirigida del almacenamiento 124 eléctrico. Una fuente óptica de ejemplo que opera como un componente de iniciación puede incluir un láser como se describe en el documento US 8.272.325 (con fecha del 25 de septiembre de 2012). En las realizaciones, el IA 102 puede controlar un detonador electrónico, que está configurado para recibir comandos de armar, disparar y retardo de tiempo de una máquina de voladura comercialmente disponible incorporada en la estación 114 base, y para activar la carga de explosivo (*mediante* el explosivo 116) después de un retardo pre-programado.

El IA 102 puede incluir también un sistema de transmisor de EM (ETS) 128 que está electrónicamente en comunicación con, y conectado al menos indirectamente al BCS 122. El ETS 128 incluye una o más antenas de EM configuradas para generar las señales de EM para el enlace 106 de regreso. El ETS 128 puede denominarse como una "fuente". Estas antenas (denominadas como "antenas de IA") pueden ser antenas de bobina ajustadas a una frecuencia de transmisión seleccionada usando una red 222 adaptable ajustable (por ejemplo, que incluye un tanque resistivo-capacitivo de condensador de conmutación, o un controlador de corriente) del componente 218 de transmisión. La antena de IA puede ser únicas bobinas solenoides con un área en sección transversal que es tan grande como sea posible mientras se mantiene dentro de un alojamiento del IA 102, por ejemplo, un diámetro de 60. Estas bobinas pueden tener, por ejemplo, entre 50 y 500 vueltas, y un factor de alta calidad (Q).

El IA 102 puede únicamente ser capaz/requerirse para transmitir señales de EM (representando los datos de respuesta, descritos en más detalle a continuación) al ERS 108 *mediante* el enlace 106 de regreso sin poderse/requerirse transmitir directamente a la estación 114 base. Como la potencia eléctrica usada para generar señales de EM requiere menos potencia eléctrica que la usada para generar señales magnéticas, el almacenamiento de energía requerido por el IA 102 para alimentar el enlace 106 de regreso puede estar limitado a niveles inferiores, mejorando de esta manera asuntos de seguridad.

En algunas realizaciones, tanto el IA 102 como el ERS 108 incluyen tanto un receptor como un transmisor, o una combinación que forma un "componente de transceptor", que puede tanto enviar como recibir señales de EM a lo largo del enlace 106 de regreso. El transmisor y receptor, o transmisor, de EM del ERS 108 pueden estar localizados en el módulo 110 receptor de retransmisión, y pueden compartir la antena en el módulo 110 receptor de retransmisión. El IA 102 puede incluir un receptor de EM, o un transceptor de EM configurado para recibir señales de EM de regreso a lo largo del enlace 106 de regreso del TTE de ERS 108. La antena del IA 102 puede estar contenida dentro del IA 102, o puede extenderse de un cuerpo principal del IA 102, y estar conectada eléctricamente al BCS 122 por un cable de antena (que incluye un conductor o alambre eléctrico) que se extiende desde el cuerpo principal del IA 102: la antena cable lleva señales entre el cuerpo principal y la antena para enviar y recibir (en algunas realizaciones) las señales de EM. El cuerpo principal del IA 102 incluye el MRS 120, el BCS 122, el almacenamiento 124 eléctrico, y el compartimento 126 de iniciación. En las realizaciones, la antena de IA puede extenderse aproximadamente  $\frac{1}{2}$  de camino que asciende a la longitud de la perforación. En otras realizaciones, la antena de IA puede extenderse hasta aproximadamente la longitud total de la perforación hasta el collar de la perforación.

En las realizaciones, el IA 102 puede estar configurado como una pluralidad de módulos separados y conectables, que incluyen uno o más de lo siguiente: un módulo de sensor; un módulo de iniciador (que incluye un iniciador o un detonador); y un módulo de señalización de transmisor de EM. El módulo de sensor puede incluir el MRS 120, el sistema 122 de controlador de voladura, y una porción principal del almacenamiento 124 eléctrico. El módulo de iniciador puede incluir el componente 126 de iniciación. El módulo de señalización de transmisor de EM puede incluir el sistema 128 transmisor de EM, y una porción de señalización del almacenamiento 124 eléctrico. Tener una pluralidad de porciones de almacenamiento eléctrico separadas en el IA 102 (es decir, la porción principal y la porción de señalización en diferentes módulos) puede reducir la potencia extraída de la fuente principal durante comunicaciones de diagnóstico por el IA 102, manteniendo por lo tanto suficiente potencia para disparar. El IA 102 puede incluir también un módulo de seguridad, para mejorar falsa señalización o transferencia de potencia al módulo de iniciación que puede conducir a iniciación o detonación indeseable. El módulo de sensor y el módulo de iniciación pueden estar conectados tanto mecánicamente (por ejemplo, bayoneta, o clip o roscado), y eléctricamente (por ejemplo, usando un conector de 2 o 4 patillas) u opcionalmente, de modo que el módulo de sensor puede transmitir los comandos al módulo de iniciación, y de modo que el módulo de sensor y el módulo de iniciación pueden unirse justo antes de la colocación en un orificio (por ejemplo, por razones de seguridad). Para proporcionar comunicación al ERS 108, el módulo de señalización de transmisor de EM puede estar conectado al módulo de sensor y/o al módulo de iniciación tanto mecánicamente, como eléctricamente u ópticamente, de modo que el módulo transmisor puede

recibir señales del módulo de sensor, basándose en los comandos recibidos. Cuando se montan para formar el IA 102, el módulo de sensor, el módulo de iniciación y el módulo de señalización de transmisor de EM pueden ajustarse al alojamiento 129 global que está para su inserción y enterramiento en un orificio. En estas realizaciones separables, el módulo de señalización de transmisor de EM puede estar acoplado a detonadores electrónicos o iniciadores electrónicos existentes.

Señales y ruido

Como se ha indicado anteriormente, puede haber cuatro rutas a lo largo de las cuales puede tener lugar la comunicación en el WEBS 100: (A) el enlace 103 inicial de la estación 114 base al MTS 118; (B) el enlace 104 directo de la MTS 118 al IA 102; (C) el enlace 106 de regreso del IA 102 al ERS 108; y, (D) el enlace 107 de base entre el ERS 108 y la estación 114 base. La comunicación a lo largo del enlace 103 inicial puede ser unidireccional, y puede ser *mediante* un enlace alámbrico o inalámbrico. El enlace 104 directo puede ser unidireccional, y tener lugar *mediante* señales magnéticas. El enlace 106 de regreso, ya opere únicamente en un sentido (únicamente desde el IA 102 al ERS 108) o en dos sentidos (de ida y vuelta entre el IA 102 y el ERS 108), tiene lugar *mediante* señales de EM. El enlace 107 de base puede usarse exclusivamente para recepción de señales de EM del ERS 108 o para comunicación de ida y vuelta entre el ERS 108 y la estación 114 base.

En las realizaciones, el IA 102 puede recibir comunicaciones de la estación 114 base a través de dos rutas diferentes: el enlace 104 directo y el enlace 106 de regreso. Como se ha indicado anteriormente, la estación 114 base puede comunicar *mediante* señales magnéticas desde el MTS 118 al IA 102, y la estación 114 base puede enviar comunicaciones *mediante* el ERS 108 a lo largo del enlace 106 de regreso usando señales de EM. El IA 102 puede únicamente enviar datos de respuesta a lo largo de una de estas rutas, enlace 106 de regreso, al ERS 108 y a la estación 114 base.

En realizaciones donde la comunicación a lo largo del enlace 106 de regreso es bidireccional, las señales de la estación 114 base *mediante* el ERS 108 pueden estar limitadas a las señales de diagnóstico o no diagnóstico. En una realización de este tipo, las señales recibidas de la estación 114 base *mediante* el MTS 118 pueden estar limitadas a señales de iniciación. Esta estructura de comunicación puede reducir riesgos de explosiones debido a señales errantes a través del enlace 106 de regreso, o riegos debido a señales de EM espurias (por ejemplo, ruido, o interferencia de EM) en el sitio.

Los datos de respuesta (que pueden denominarse también como "datos de realimentación") pueden generarse para representar cualquier forma pertinente de comunicación, incluyendo una cualquiera o más de:

datos de acuse de recibo que representan acuse de recibo de la recepción de un comando en el IA 102, que pueden incluir: un tono de señal de acuse de recibo (ACK) o no acuse de recibo (NACK) sencillo;

un ID de comando que identifica el comando recibido, que puede incluir la confirmación de que el comando se recibió sin error (por ejemplo, basándose en una comprobación de redundancia cíclica);

datos de tiempo de recepción que representan cuándo se han recibido comandos por el IA 102 (los datos de tiempo de recepción pueden combinarse con los datos de acuse de recibo);

datos de estado que representan un estado actual de una máquina de estado en el IA 102 (por ejemplo, ARMADO, DESACTIVADO, SEGURO, etc.);

datos de estado que representan un estado actual del IA 102 y/o estados de componentes del IA 102, que incluyen: un estado de la fuente 214 de alimentación (por ejemplo, operacional, no operacional), un estado del enlace 104 directo (por ejemplo, operacional, no operacional), un estado del almacenamiento 124 eléctrico (por ejemplo, operacional, no operacional), un estado del componente 126 de iniciación (por ejemplo, operacional, no operacional);

datos de batería que representan una o más medidas de potencia eléctrica restante almacenada en el IA 102 (por ejemplo, como se ha mencionado en este punto anteriormente, puede haber fuentes de alimentación separadas también representadas por el almacenamiento 124 eléctrico para el componente 126 de iniciación y para el ETS 128);

datos de error que representan códigos de error generados por el IA 102, que pueden incluir uno o más de los errores y códigos de error (que, en las realizaciones, pueden ser, al menos de 16 bits de longitud);

datos de condición que representan una condición del IA 102, para determinar su potencial para iniciación, que pueden incluir una resistencia de un alambre de puente de fusible, tensión en un condensador de disparo, y/o resistencia de un iniciador de láser, o banderas de error si estas medidas están fuera de intervalos almacenados, por ejemplo, de acuerdo con una rutina de prueba predeterminada realizada por el IA 102;

datos de rendimiento (que pueden denominarse como "datos de métricas") que representan mediciones de rendimiento del IA 102, que incluyen métricas para comunicación, por ejemplo, intensidad de señal magnética recibida, Indicación de Intensidad de Señal Recibida (RSSI), relación de señal a ruido recibida, o tasa de errores de bits para los comandos;

5 datos de entorno a partir de la monitorización de un entorno del IA 102, que incluyen valores de parámetro para humedad, temperatura, vibraciones, etc., que usan sensores incluidos en el IA 102 (por ejemplo, sensores de humedad, sensores de temperatura, sensores de vibración, etc.);

10 datos de identificador (ID) que representan un identificador del IA 102 por ejemplo, un identificador de iniciador casi único (IID) que identifica uno de los IA 102, y/o el ID de grupo (GID) para un grupo de IA 102;

datos de ajuste almacenado en el IA 102 relacionados con una voladura seleccionada, coordenadas, número de fila, número de orificios y/o secuencia de registro; y

15 datos de temporización de iniciador que representan temporización de iniciador (por ejemplo, temporización de detonador).

20 En sitios de ejemplo, la roca altamente atenuante puede estar localizada en la ruta de las comunicaciones, por ejemplo, roca sedimentaria porosa saturada por agua con una atenuación constante de 200 veces o mayor que 20 dB, por metro. Para conseguir la distancia de transmisión requerida para el enlace 106 de comunicaciones de regreso, aunque limitada por una fuente de alimentación pequeña en el IA 102, puede requerir tiempos de transmisión relativamente largos, por ejemplo, mayores que de 3 a 10 minutos, incluso para tasas de datos limitadas (tasas de bits).

25 En las realizaciones, las señales de EM generadas por el IA 102 pueden ser de baja tasa de bits, por ejemplo, un único tono (es decir, frecuencia central o portadora) por señal; puede ser único para cada IA 102; y puede corresponder a un comando sencillo, por ejemplo, acuse de recibo satisfactorio o error. Los paquetes de datos pueden generarse usando, por ejemplo, codificación activado-desactivado. El periodo de recepción de un paquete de EM a través del enlace 106 de regreso puede ser mayor que aproximadamente 1 minuto, o entre aproximadamente 3 y  
30 aproximadamente 10 minutos. En ejemplos, con un periodo de aproximadamente 3 minutos, los paquetes pueden incluir un único bit (por ejemplo, 0 o 1), o menos de 5 bits, o menos de 8 bits, o menos de 16 bits, o al menos 16 bits.

35 Las fuentes de ruido típicas en una mina pueden ser constantes, o tener amplitud dependiente del tiempo: ejemplos incluyen líneas de potencia, máquinas pesadas, y equipo de comunicaciones. Para mejorar los efectos perjudiciales de estas fuentes de ruido en el enlace 106 de comunicaciones de regreso, el ETS 128 puede usar salto o desplazamiento de frecuencia o para resistir la interferencia, especialmente interferencia de banda estrecha. Por ejemplo, podrían seleccionarse múltiples frecuencias para cada IA 102 en un grupo de IA 102 seleccionado, y cada IA 102 podría transmitir en la frecuencia más disponible (por ejemplo, basándose en intensidad o interferencia de señal) o en todos los canales disponibles. El IA 102 puede enviar señales de prueba a lo largo del enlace 106 de regreso, y  
40 recibir correspondientes señales de respuesta de prueba del ERS 108, para determinar la frecuencia más disponible. El módulo 110 receptor de retransmisión y/o el ETS 128 (cuando operan como un receptor en las realizaciones de enlace de regreso bidireccional) pueden filtrar fuentes de ruido predeterminadas, como se describe en lo sucesivo.

45 En aplicaciones con una pluralidad de IA 102, los IA 102 pueden transmitir a diferentes respectivas frecuencias de EM (es decir, en paralelo). Un esquema de modulación paralelo de este tipo puede permitir a todos los IA 102 desplegados responder a la vez, por lo tanto el tiempo de comunicación puede estar limitado independientemente del número de IA 102 que se detecta, por ejemplo, requiriendo únicamente de 3 a 10 minutos (min) para todos los IA 102 en un grupo. En otras aplicaciones, las señales de EM de respectivos IA pueden estar retardadas en el tiempo para diferentes  
50 tiempos de retardo de respuesta seleccionados de modo que puede determinarse una identidad de cada IA 102 (en la estación 114 base) a partir del tiempo de respuesta recibido, y/o de la secuencia y ordenación de las señales de respuesta EM recibidas. Algunas aplicaciones pueden incluir un primer grupo de IA 102 configurados para transmitir en paralelo o en serie a un primer módulo 110 receptor de retransmisión, y un diferente segundo grupo de IA 102 configurados para transmitir en paralelo en serie o un segundo módulo 110 receptor de retransmisión, por ejemplo, como se muestra en la Figura 4.

55 El ERS 108 puede estar configurado para usar análisis de dominio de frecuencia para detectar las diferentes respectivas frecuencias de EM (que pueden denominarse como "picos tonales") de los IA 102. El espaciado de los picos tonales puede seleccionarse para que sea de, por ejemplo, aproximadamente 2 a aproximadamente 20 Hercios (Hz). El ERS 108 puede incluir filtros de ruido, que incluyen filtros de frecuencia que están configurados para reducir el ruido de EM que no son frecuencias de transmisión preseleccionadas de los IA 102 en uso. El módulo 110 receptor  
60 de retransmisión puede incluir filtros de paso banda con bandas de paso seleccionadas basándose en el ruido de entorno en el sitio. Las frecuencias de transmisión de los IA 102 en uso pueden seleccionarse para diferir de frecuencias predeterminadas de las fuentes de ruido de EM en el sitio, permitiendo por lo tanto que el ERS 108 diferencie en frecuencia entre ruido de EM y las señales de EM de los IA 102.

65 El estado del IA 102 puede controlarse por una máquina de estado en el BCS 122, por ejemplo, proporcionando un

modo de hibernación, un modo de escucha, un modo armado y un modo de disparo (*etc.*).

## Sistema de receptor electromagnético (ERS)

5 El receptor 108 de EM se representa en la Figura 1 y, como se ha analizado anteriormente, incluye las estaciones 112 de retransmisión y el módulo 110 receptor de retransmisión. El módulo 110 receptor de retransmisión del ERS 108 puede incluir una interfaz inalámbrica para conexión a uno o más alambres en el cable conductor para comunicación  
10 alámbrica a lo largo del enlace 109 inter-repetidor del módulo 110 receptor de retransmisión a la estación o estaciones 112 de retransmisión. Como alternativa, el módulo 110 receptor de retransmisión puede estar conectado usando un cable, o alambres, o un enlace inalámbrico, a la estación 114 base directamente, usando el enlace 107 de base, dependiendo de la configuración del sitio. El ERS 108 incluye una interfaz de conexión para comunicación a lo largo del enlace 106 de regreso, como se ha descrito en el presente documento anteriormente.

15 El módulo 110 receptor de retransmisión puede ser desechable, por ejemplo, prescindible durante una voladura. El módulo 110 receptor de retransmisión puede permitir la detección de la señal de EM en, por ejemplo, de aproximadamente 50 m a aproximadamente 100 m de los IA enterrados 102. Pueden usarse múltiples módulos 110 de receptor de retransmisión para cubrir una gran área operacional en un sitio.

20 El módulo 110 receptor de retransmisión incluye al menos una antena que puede recibir la señal de EM del IA 102. Esta antena puede ser una bobina conductora con una red coincidente (para permitir detección resonante). La al menos una antena puede incluir una pluralidad de antenas colocadas en diferentes orientaciones para detectar las señales de EM con diferentes polarizaciones y orientaciones.

25 Como se ha descrito anteriormente, el módulo 110 receptor de retransmisión incluye un receptor de EM con la antena para recibir las señales de EM. El módulo 110 receptor de retransmisión incluye un procesador electrónico para decodificar la señal de EM recibida y para extraer los datos de respuesta; como alternativa, el módulo 110 receptor de retransmisión puede simplemente amplificar y pasar en (es decir, "retransmitir" o "amplificar") las señales de respuesta. El módulo o módulos 110 de receptor de retransmisión y la estación o estaciones 112 de retransmisión pueden incluir  
30 interfaces para conectarse entre sí y a la estación 114 base: estas interfaces pueden incluir un transmisor alámbrico para una interfaz inalámbrica (por ejemplo, usando un cable, Ethernet <sup>TM</sup>, *etc.*) o un transmisor inalámbrico para una interfaz inalámbrica (por ejemplo, usando WiFi <sup>TM</sup>, ZigBee <sup>TM</sup>, inducción magnética, *etc.*). El enlace 109 inter-repetidor y/o el enlace 107 de base pueden usar en parte un repetidor de infraestructura existente que usa redes de comunicaciones pre-existentes en el sitio, por ejemplo, un cable alimentador con fugas, un cable de Ethernet, o sistemas de comunicaciones de minas existentes. Cada una de las estaciones 112 de retransmisión puede incluir una  
35 fuente de alimentación de batería.

40 El módulo o módulos 110 de receptor de retransmisión y/o la estación o estaciones 112 de retransmisión pueden generar datos de respuesta de retransmisión que representan rendimiento del sistema de EM, que incluyen, por ejemplo, tiempos en los que se detectan las señales de EM, la identificación de los IA 102 desde los que se originan, y cualquier diagnóstico de sistema (por ejemplo, que incluye una relación de Señal a Ruido para cada señal de EM). El módulo o módulos de receptor de retransmisión, la estación o estaciones 112 de retransmisión, y/o la estación 114 base pueden extraer los datos de respuesta de las señales de respuesta, por ejemplo, almacenando y aplicando un esquema de demodulación preseleccionado que coincide con el esquema de modulación (o protocolo) usado en el IA 102.

## 45 Método de voladura

50 Un método de, o para, voladura usando el WEBS 100 incluye: una fase de configuración, una fase de prueba y una fase de voladura.

La fase de configuración puede incluir las siguientes etapas:

55 desplegar la estación 114 base y el MTS 118 en una localización segura (que puede, por ejemplo, estar protegida de la roca voladora u otro peligro explosivo, fuera del alcance de la roca voladora, *etc.*) en un sitio dentro del intervalo magnético de posiciones de disparo preseleccionadas de localizaciones de IA 102 seleccionadas en un patrón de voladura preseleccionado;

programar una pluralidad de los IA 102;

60 colocar o cargar los IA 102 en las posiciones de disparo preseleccionadas;

desplegar el módulo o módulos 110 de receptor de retransmisión en el intervalo 132 de EM de los IA 102;

65 desplegar las estaciones 112 de retransmisión dentro de intervalo de comunicaciones (por ejemplo, alámbricas o inalámbricas) de los módulos 110 de receptor de retransmisión y de la estación 114 base; y

## ES 2 743 514 T3

cargar las perforaciones con explosivos.

La fase de prueba puede incluir las siguientes etapas:

- 5 transmitir estación 114 base un comando al MTS 118 o al ERS 108;
- transmitir el MTS 118 el comando a los IA 102 *mediante* el enlace 104 directo, o transmitir el ERS 108 el comando a los IA 102 *mediante* el enlace 106 de regreso;
- 10 recibir cada uno de los IA 102 la señal de comunicación magnética de TTE que representa uno seleccionado de los comandos de una estación base;
- procesar cada uno de los IA 102 la señal de comunicación magnética para determinar el comando;
- 15 generar cada uno de los IA 102 los datos de respuesta basándose en el comando;
- generar y transmitir cada uno de los IA 102 (en paralelo o en serie) los datos de respuesta al ERS 108 usando las señales de EM;
- 20 transmitir el ERS 108 los datos de respuesta a la estación 114 base; y
- procesar la estación 114 base los datos de respuesta recibidos, que pueden incluir confirmar la recepción correcta de la señal de comandos, por ejemplo, recepción correcta de una señal de temporización.

25 La fase de voladura puede incluir las siguientes etapas:

- limpiar el sitio de personal y equipo valioso;
- 30 generar la estación 114 base un comando de iniciación para comenzar la voladura, y enviar este comando de iniciación al MTS 118;
- transmitir el MTS 118 el comando de iniciación a los IA 102 *mediante* el enlace 104 directo; y
- 35 recibir y procesar cada uno de los IA 102 y el comando de iniciación para iniciar la detonación cuando cada cuenta atrás (basándose en la información de temporización previamente recibida) está completa, efectuando por lo tanto la voladura.

Las etapas en la fase de prueba pueden repetirse una pluralidad de veces para diferentes comandos, por ejemplo, un comando de informe de condición puede seguirse por un comando de temporización, y a continuación otro comando de informe de condición.

40

La etapa de transmisión de la señal de EM puede incluir las etapas de:

- 45 seleccionar cada uno del IA 102 la frecuencia de transmisión (por ejemplo, una frecuencia central o una frecuencia portadora) para la señal de EM, por ejemplo, basándose en un gráfico de tiempo (frecuencia frente a tiempo) y un tiempo de sistema del reloj 210, y basándose en el IID;
- modular cada uno del IA 102 la señal de respuesta usando la frecuencia de transmisión seleccionada para generar la señal de EM; y
- 50 detectar el ERS 108 la señal de respuesta demodulando en la frecuencia de transmisión seleccionada (donde la frecuencia de transmisión seleccionada para cada uno de los IA 102 está predeterminada en una programación, o donde el ERS 108 monitoriza todas las frecuencias a través de un intervalo seleccionado, que incluye todos los IA 102 en la voladura, de manera simultánea).

55

### Aplicaciones

En uso, un método de comunicación bidireccional que usa dos canales diferentes proporcionados por el WEBS 100 permite:

- 60 emitir un usuario (por ejemplo, un operador de sistema) un comando de la estación 114 base;
- recibir el IA 102 el comando *mediante* el enlace 104 directo, o *mediante* el enlace 106 de regreso;
- activar y generar el IA 102 los datos de respuesta en respuesta al comando;
- 65 enviar el IA 102 los datos de respuesta usando las señales de EM al módulo 110 receptor de retransmisión

*mediante* el enlace 106 de regreso;

enviar el módulo 110 receptor de retransmisión los datos de respuesta a la estación 114 base *mediante* la estación o estaciones 112 de retransmisión; y

5 generar y presentar la estación 114 base los datos de respuesta al usuario, por ejemplo, para confirmar la operación de corrección del IA 102.

10 El WEBS 100 puede mejorar también alguno de los desafíos que se enfrentan a la prospección, por ejemplo, para petróleo y/o gas. El daño de segmento-alambre, ya sea intencionado o no intencionado, es un modo de fallo clave para detonación de explosivo durante prospección sísmica para petróleo y gas. Esto se empeora por el hecho de que los explosivos colocados para realización de una prospección sísmica pueden dejarse en su lugar (es decir, dormidos) durante periodos extendidos (por ejemplo, muchos meses), mucho más allá de los que se usan habitualmente para explosivos en otras actividades, por ejemplo, minería, canteras, etc. Los explosivos que fallan al detonar, por ejemplo

15 durante una prospección sísmica, deben informarse a diversas autoridades como abandonados, junto con localización o localizaciones de mapa documentadas.

Aunque la voladura inalámbrica proporciona una ventaja evidente para prospección sísmica de petróleo y gas a medida que se retira el daño de segmento-alambre como una causa para fallo de detonación, el estado actual de la técnica no permite que se comunique información alguna de dispositivo de explosivo enterrado. El WEBS 100 puede superar esta desventaja proporcionando un medio para comunicación de, por ejemplo, información de estado. Además, la señal de canal de regreso puede usarse como una baliza para identificación del dispositivo de explosivo en el futuro, o además, como una baliza de advertencia para dispositivos adecuadamente activados, por ejemplo, taladros de

20 petróleo y gas.

Puede preverse una opción para comunicarse fuera de la perforación *mediante* alambres temporales (que pueden denominarse como "alambres de segmento") del IA 102 a una estación repetidora en el collar de la perforación 130. En una realización de este tipo, el IA 102 se dispararía aún *mediante* la señal de MI inalámbrica, pero los alambres temporales podrían usarse para diagnósticos de anchura de banda alta después de despliegue y antes del disparo. Las comunicaciones bidireccionales *mediante* el alambre temporal podrían realizarse durante o después de comunicación magnética con los IA 102 en el orificio, caso en el que la información de diagnóstico podría incluir intensidad de campo magnético y relación de señal a ruido. Los alambres temporales podrían usarse para "encender" el dispositivo en el orificio en casos donde el IA 102 está en reposo entre despliegue y conexión (esto ahorraría energía eléctrica (en la batería) y extendería la vida del IA 102 en la perforación). Aunque esta opción puede parecer adecuada, los alambres de segmento en una perforación son a menudo el componente más vulnerable de un sistema de iniciación. El fallo al comunicar con un IA en el orificio 102 *mediante* alambres temporales podría indicar que el IA en el orificio 102 está defectuoso o simplemente que los alambres han fallado. El WEBS 100 descrito en el presente documento proporciona el enlace 106 de regreso inalámbrico al ERS 108, y el enlace 106 de regreso inalámbrico tiene menos riesgo de daño que los alambres de segmento temporal.

25

30

35

40

El WEBS 100 puede tener una o más de las siguientes ventajas en comparación con dispositivos existentes y sistemas inalámbricos unidireccionales para el mercado de detonadores comerciales:

45 post-despliegue, el IA 102 puede interrogarse por su estado, y el IA 102 puede comunicar su estado, y/o cualesquiera errores, al usuario;

el enlace 106 de regreso (inalámbrico) permite la evitación de fallos que pueden provocarse por daño a alambres que de otra manera se hubieran extendido a lo largo de y/o entre las perforaciones, o alrededor del sitio;

50 el flujo de datos más complejo (es decir, información relativamente densa) que imparte información de temporización/disparo, etc., puede suministrarse por inducción magnética, mientras que se transmite una señal de confirmación a RF de baja frecuencia, por lo tanto las transmisiones de alta energía al IA de superficie inferior 102 pueden alimentarse en la superficie, mientras que los flujos de datos confirmatorios, de baja potencia, breves, pueden transmitirse desde la superficie inferior usando RF de baja frecuencia; y

55

la comunicación de red con el IA 102 usando los protocolos de comunicaciones comercialmente disponibles (por ejemplo, procedimientos usados con los detonadores i-kon™ de Orica) puede mantenerse si el enlace 106 de regreso es bidireccional.

## 60 Interpretación

Serán evidentes muchas modificaciones para los expertos en la materia sin alejarse del alcance de la presente invención.

65 La referencia en esta memoria descriptiva a cualquier publicación anterior (o información derivada de ella), o a cualquier materia que se conozca, no es, y no debe tomarse como un reconocimiento o admisión o cualquier forma

de sugerencia de que la publicación anterior (o información derivada a partir de ella) o de la materia conocida forma parte del conocimiento general común en el campo del esfuerzo al que se refiere esta memoria descriptiva.

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato de iniciador IA (102) para voladura, incluyendo el IA:
  - 5 un receptor (120) magnético configurado para recibir la señal de comunicación magnética a través de la tierra (TTE) que representa un comando de una estación (114) base;
  - un controlador (122) de voladura, en comunicación eléctrica con el receptor (120) magnético, configurado para generar datos de respuesta en respuesta al comando; y
  - 10 un sistema transmisor de EM electromagnético ETS (128), en comunicación eléctrica con el controlador de voladura, configurado para transmitir los datos de respuesta para la estación base usando una señal de EM electromagnética de TTE, en el que el ETS (128) es una fuente de RF de radio-frecuencia y la señal de EM es una señal de RF que incluye una o más frecuencias entre 20 kHz y 70 kHz.
2. El IA de la reivindicación 1, en el que el controlador de voladura está configurado para determinar el comando de la
  - 15 señal de comunicación magnética.
3. El IA de la reivindicación 1 o 2, en el que el controlador de voladura está configurado para generar los datos de respuesta para incluir cualquiera de lo siguiente:
  - 20 datos de acuse de recibo que representan acuse de recibo de la recepción del comando en el IA;
  - datos de tiempo de recepción que representan cuándo se recibió el comando por el IA;
  - datos de estado que representan un estado actual de una máquina de estado en el IA;
  - datos de batería que representan una o más medidas de potencia eléctrica restante almacenada en el IA;
  - 25 datos de error que representan códigos de error generados por el IA;
  - datos de condición que representan una condición del IA;
  - datos de rendimiento que representan medidas de rendimiento del IA;
  - datos de entorno de monitorización de un entorno del IA; y
  - datos de ID de identificador que representan un identificador del IA.
4. El IA de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la señal de EM incluye una frecuencia de transmisión
  - 30 preseleccionada, seleccionada para ser única para el IA, o
  - en el que la señal de EM incluye un patrón de frecuencias de transmisión preseleccionadas seleccionadas para ser únicas para el IA y
  - 35 en el que el patrón incluye saltos entre diferentes frecuencias de transmisión en respectivos tiempos diferentes.
5. El IA de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el IA incluye un alojamiento (129) configurado para permitir la inserción y enterramiento en una perforación (130).
6. El IA de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el ETS incluye una antena en un cuerpo principal
  - 40 del IA, o en el que el ETS incluye una antena conectada por un cable a un cuerpo principal del IA.
7. El IA de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que un campo magnético en la localización del IA se modula usando un esquema de modulación para representar la señal de comunicación magnética.
8. El IA de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el IA incluye un receptor de EM para recibir una
  - 45 señal de EM de TTE de regreso.
9. El IA de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el IA está configurado para retardar durante un tiempo de retardo de respuesta seleccionado antes de transmitir los datos de respuesta, en el que el tiempo de retardo
  - 50 de respuesta se recibe en el comando.
10. Un sistema de voladura electrónico inalámbrico WEBS (100) que incluye el IA de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que incluye un generador (118) de campo magnético para generar la señal de comunicación magnética de TTE.
  - 55
11. El WEBS de la reivindicación 10, que incluye un sistema de receptor de EM ERS (108) para recibir la señal de EM del ETS,
  - en el que el ERS incluye: al menos un módulo (110) receptor de retransmisión para recibir la señal de EM a través del suelo del ETS; y al menos una estación (112) de retransmisión en comunicación electrónica con el módulo receptor
  - 60 de retransmisión para transmitir los datos de respuesta en la señal de EM a la estación base,
  - en el que el ERS y/o la estación base es/están configurados para demodular la señal de EM para extraer los datos de respuesta usando un protocolo de demodulación que corresponde a un protocolo de modulación del IA,
  - en el que el ERS incluye una fuente de alimentación para alimentar el receptor de EM,
  - 65 en el que el ERS incluye filtros de frecuencia configurados para reducir ruido de EM en una o más frecuencias de transmisión preseleccionadas del IA.

12. El WEBS de la reivindicación 10 u 11, que incluye una pluralidad de aparatos de iniciador IA, siendo cada IA el IA de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, teniendo los IA respectivas diferentes frecuencias de transmisión de EM preseleccionadas.

5 13. Un método de voladura que incluye las etapas de:

recibir una señal de comunicación magnética a través de la tierra TTE que representa un comando para un aparato de iniciador IA de una estación (114) base;

10 generar, por el IA, datos de respuesta en respuesta para el comando; y  
transmitir los datos de respuesta para la estación base usando una señal de EM electromagnética de TTE, en el que la señal de EM es una señal de RF que incluye una o más frecuencias entre 20 kHz y 70 kHz.

14. El método de la reivindicación 13, que incluye la etapa de determinar, por el IA, el comando de la señal de comunicación magnética.

15

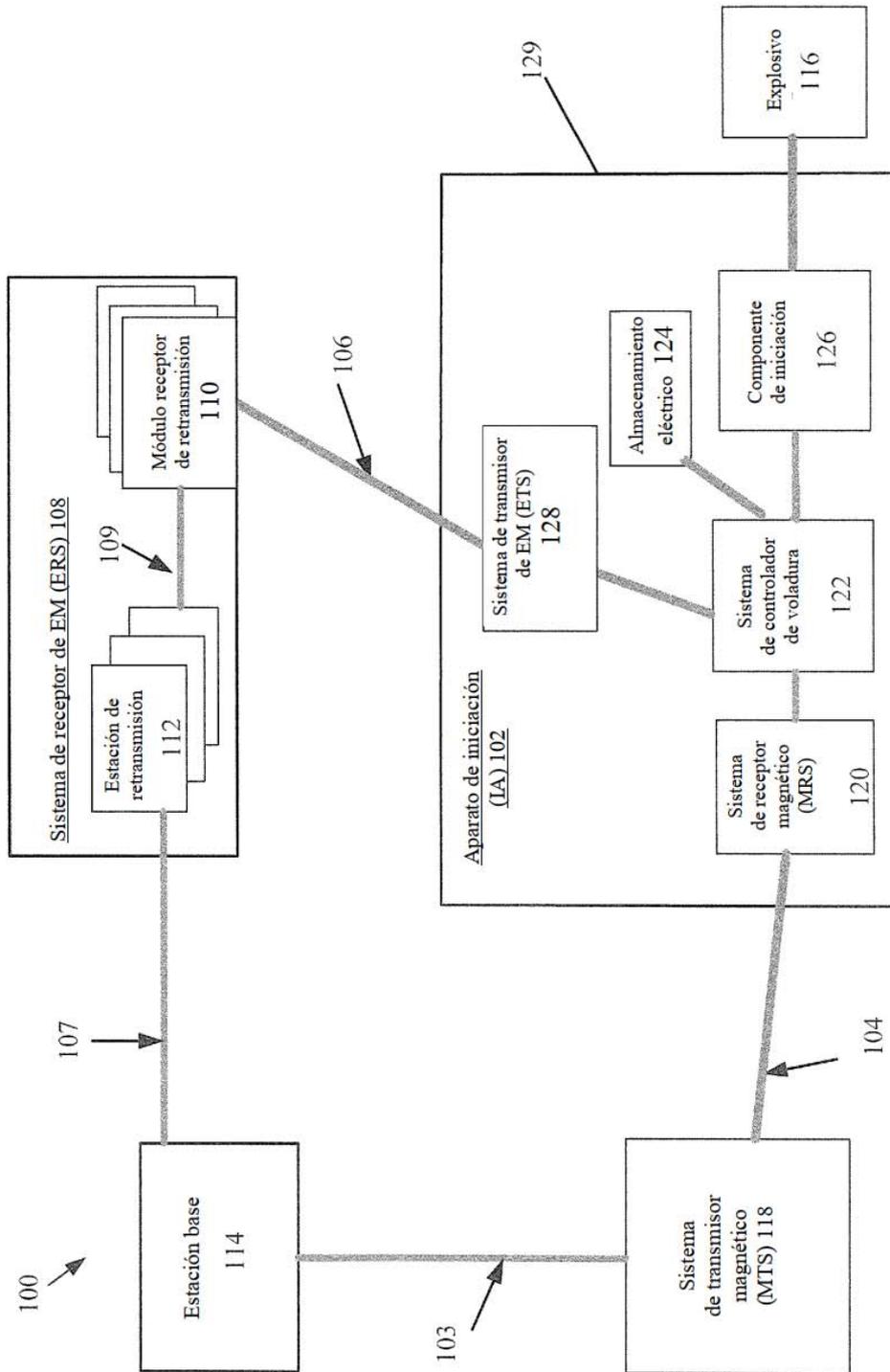


Figura 1

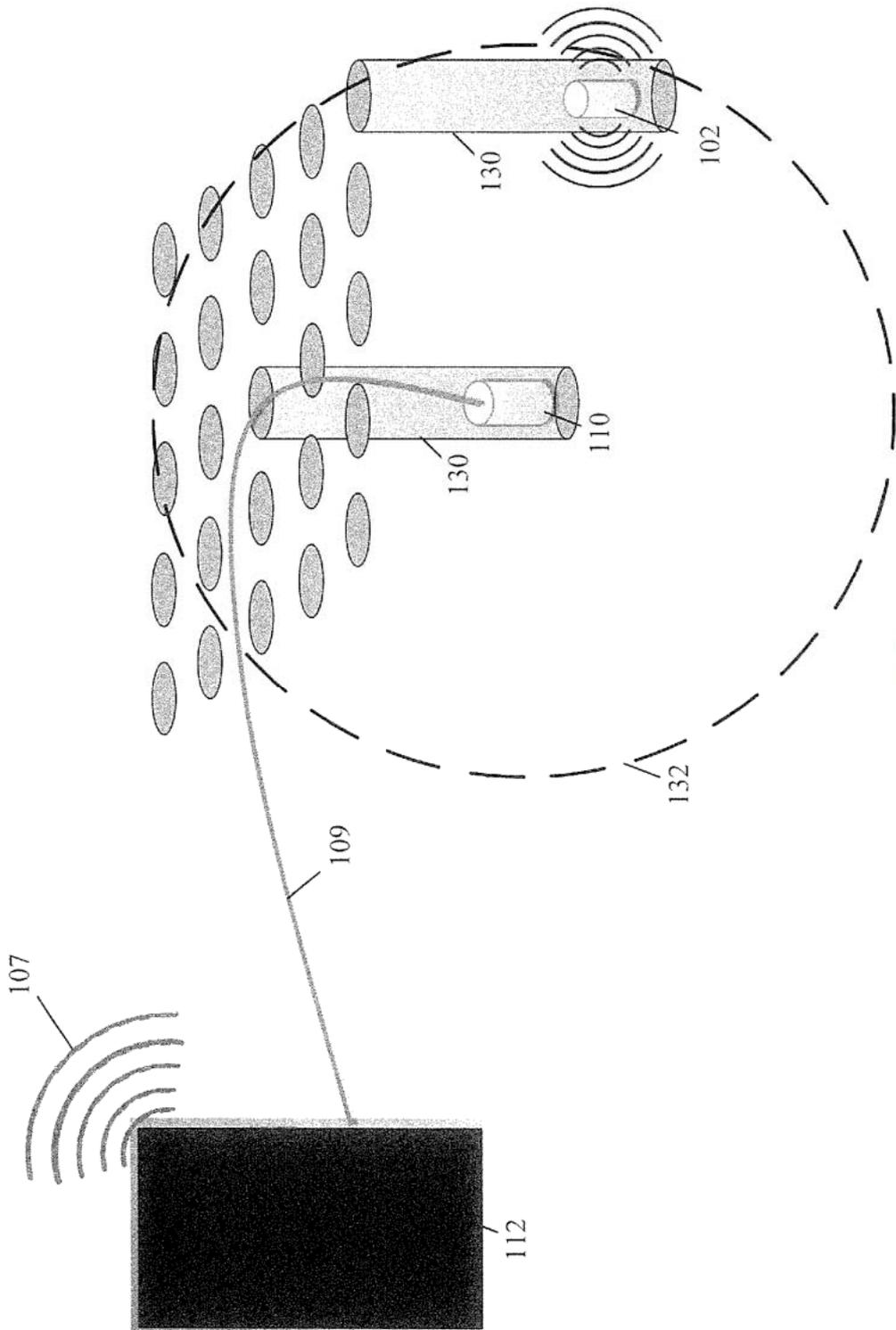


Figura 2

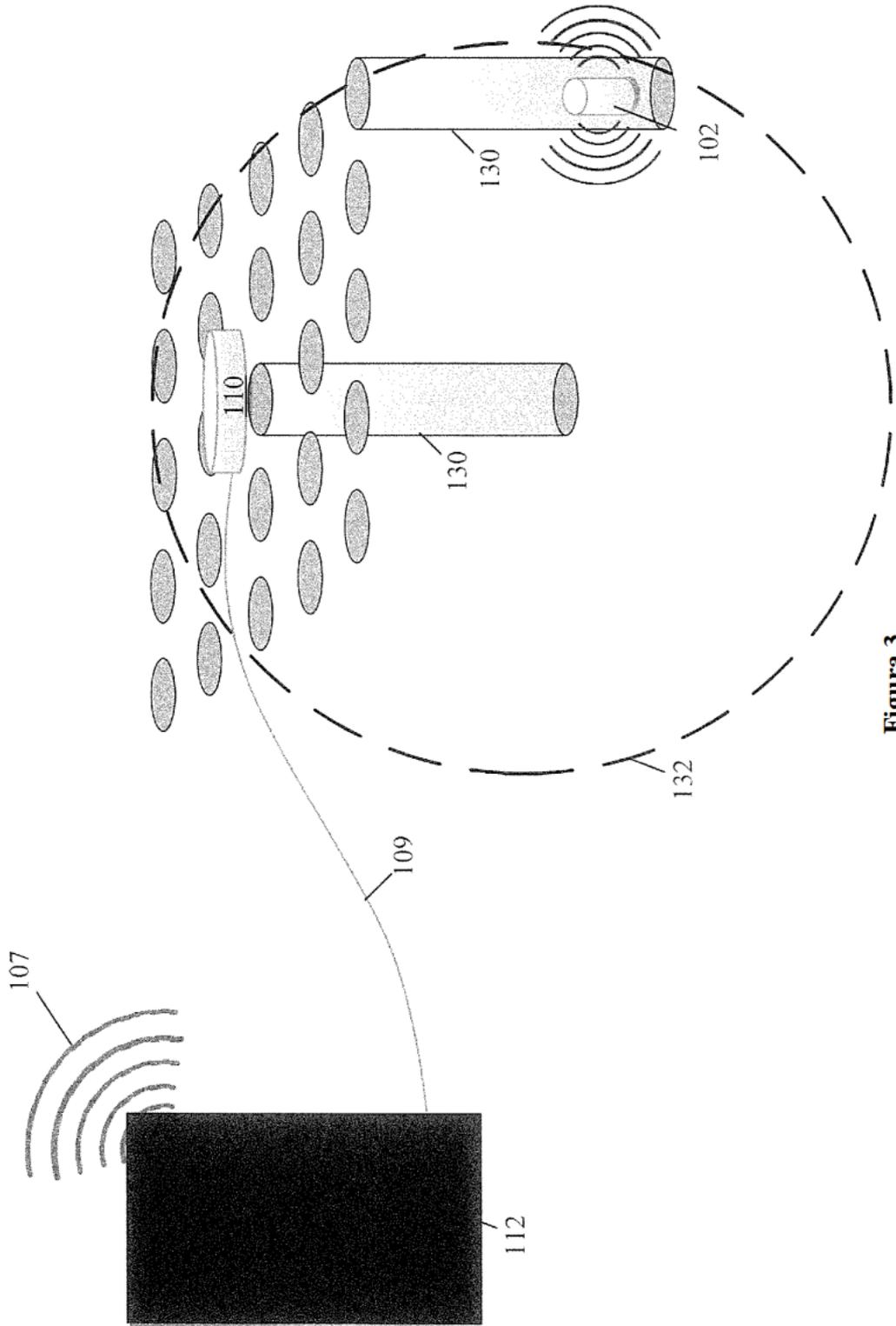


Figura 3



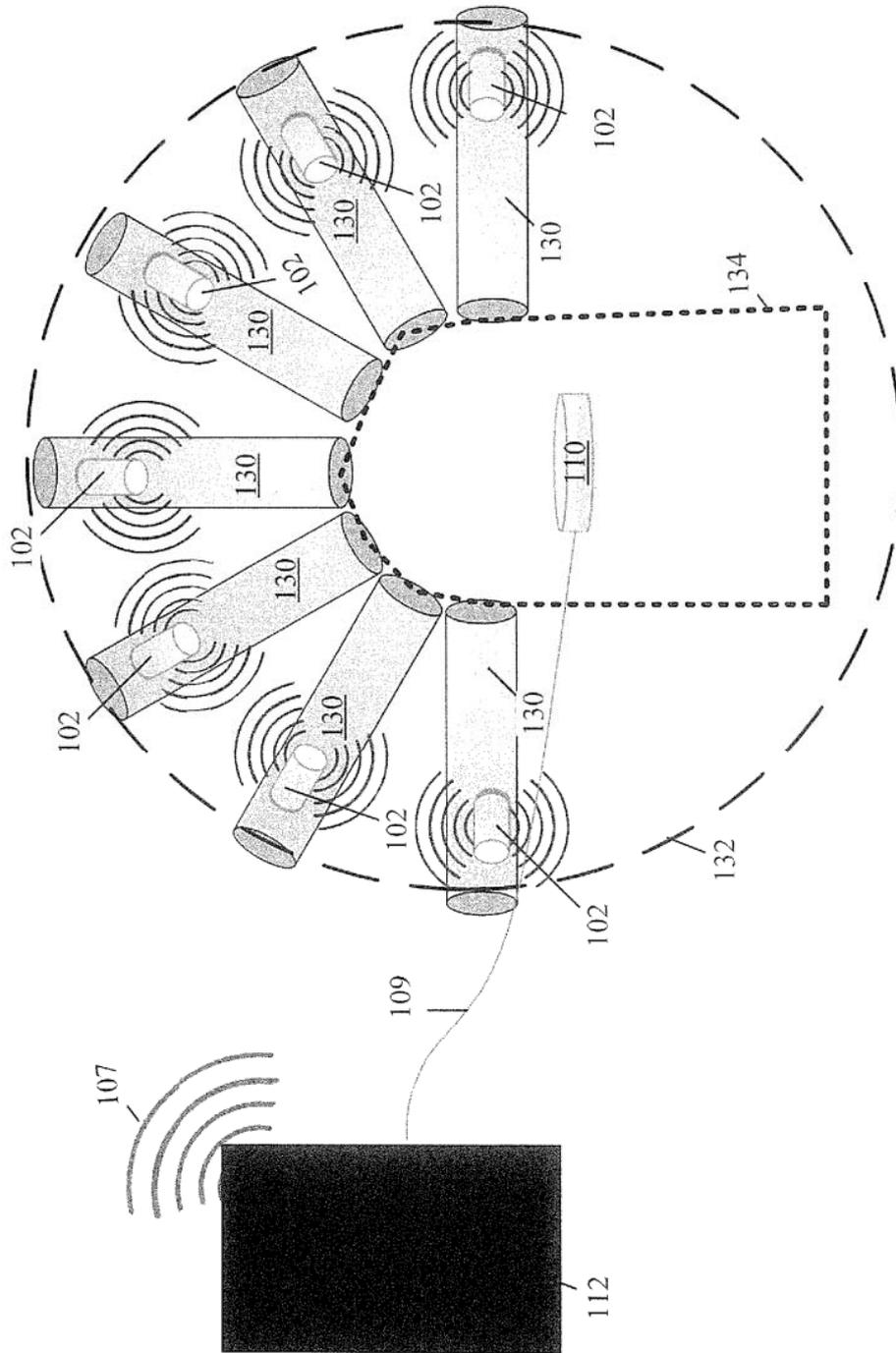


Figure 5