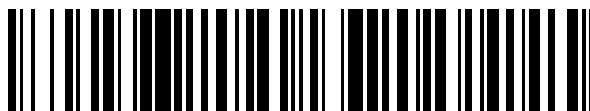


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 659 712**

51 Int. Cl.:

F42D 1/055 (2006.01)

F42D 1/00 (2006.01)

F42D 3/06 (2006.01)

F42B 3/10 (2006.01)

F42D 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.05.2008 PCT/AU2008/000686**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.11.2008 WO08138070**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.05.2008 E 08747956 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2018 EP 2165153**

54 Título: **Voladura electrónica con alta precisión**

30 Prioridad:

15.05.2007 US 924448 P

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

19.03.2018

73 Titular/es:

**ORICA EXPLOSIVES TECHNOLOGY PTY LTD
(100.0%)
1 NICHOLSON STREET
MELBOURNE, VIC 3000, AU**

72 Inventor/es:

**LOWNDS, CHARLES MICHAEL;
STEWART, RONALD F. y
HUMMEL, DIRK**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 659 712 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

Voladura electrónica con alta precisión

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de la voladura para operaciones mineras o sísmicas. En particular, la invención se refiere al campo de la voladura electrónica que usa detonadores electrónicos.

10 Antecedentes de la invención

15 La fragmentación y ruptura eficaz de una roca por medio de cargas explosivas exige considerable habilidad y experiencia. En la mayoría de las operaciones mineras, las cargas explosivas, incluidos los potenciadores, se colocan en posiciones predeterminadas cerca o dentro de la roca, por ejemplo, dentro de unas perforaciones perforadas en la roca. Las cargas explosivas se activan a continuación a través de los detonadores que tienen retardos de tiempo predeterminados, proporcionando de este modo un patrón deseado de voladura y fragmentación de la roca. Tradicionalmente, las señales se transmiten a los detonadores desde una máquina de voladura asociada a través de sistemas no eléctricos que emplean un cordón detonante de baja energía (LEDC) o un tubo de choque.

20 Como alternativa, los cables eléctricos pueden usarse para transmitir señales más sofisticadas hacia y desde los detonadores electrónicos. Por ejemplo, tal señalización puede incluir instrucciones de ARM, DISARM, y tiempo de retardo para la programación remota de la secuencia de disparo del detonador. Además, como una característica de seguridad, los detonadores pueden almacenar códigos de disparo y responder a las señales ARM y DISPARO solo después de recibir los códigos de disparo coincidentes de la máquina de voladura. Los detonadores electrónicos a menudo se programan con retardos de tiempo con una precisión no superior a 1 ms.

30 Normalmente, las cargas explosivas se colocan en la roca en filas, con leves retardos (por ejemplo, en el orden de unos pocos milisegundos) entre el accionamiento de las cargas en las filas adyacentes. Esto tiene el efecto de generar una onda de choque progresivamente móvil en la roca que tiene una fase de compresión adecuada tanto para (1) fragmentar la roca como para (2) mover la roca fragmentada en la dirección deseada. Normalmente, la fase de compresión puede durar unos pocos milisegundos. Por lo tanto, en función del tiempo, las ondas de choque que emanan de una carga explosiva específica o una fila específica de cargas explosivas pueden interferir con las ondas de choque que emanan de las cargas explosivas adyacentes o las filas de las cargas explosivas. Esta interferencia puede conducir a vibraciones del terreno no deseadas. Sin embargo, en algunos casos la interferencia de las ondas de choque puede tener consecuencias deseables, tales como una mayor fragmentación de la roca. En un ejemplo, la publicación de patente internacional WO2005/124.272 publicada el 29 de diciembre de 2005 enseña unos métodos de voladura que implican una interferencia entre ondas de choque de perforaciones adyacentes, mientras que el tiempo de iniciación de las cargas explosivas está destinado a ayudar a reducir las vibraciones globales del terreno.

40 La prospección sísmica también puede abarcar el análisis de la interferencia de ondas de choque, para ondas de choque derivadas de la activación de cargas explosivas. Normalmente, las cargas explosivas están separadas a metros de distancia, o tal vez incluso a cientos o miles de metros de distancia. Además, para fines sísmicos, las cargas explosivas normalmente se activan simultáneamente. El análisis posterior de la reflexión de la onda de choque, la interferencia y la disipación puede proporcionar a los expertos en la materia datos valiosos sobre los estratos de roca o la presencia de depósitos de petróleo o gas debajo de la superficie de la tierra o el mar.

50 Otros ejemplos de aparatos y métodos de voladura se describen en la solicitud de patente europea EP0174115, la patente de los Estados Unidos US5539636 y la solicitud de patente internacional WO02/099356 identificadas en el informe de búsqueda europeo ampliado adjunto.

55 El documento EP0174115 se refiere a métodos y aparatos para el disparo seguro controlado remotamente de los elementos de ignición. Las señales de control de bajo nivel generadas remotamente se amplifican en un sitio de ignición local usando una fuente de energía local y las señales de control amplificadas se utilizan para cargar un dispositivo local de almacenamiento de energía. A continuación, se detectan las señales de control de disparo (por ejemplo, supresiones de duración controladas de las señales de control generadas remotamente) y se usan para controlar la descarga de la energía almacenada de este modo a través de un dispositivo de ignición eléctrica. Los detonadores son del tipo retardo pirotécnico o del tipo retardo electrónico, y el canal de comunicación transmite la información codificada a una frecuencia de portadora de 20 kHz. La divulgación describe el logro de intervalos de retardo de 25 ms entre las señales de control de disparo del generador de señal.

65 El documento US5539636 describe un aparato para activar una pluralidad de grupos de cargas eléctricas, tales como los detonadores eléctricos usados en voladura, después de los respectivos retardos de tiempo. El aparato comprende una unidad de control maestra que genera señales de control maestras para iniciar la temporización de los dispositivos de retardo asociados con cada carga. El aparato incluye además varias unidades de control auxiliares que pueden conectarse a la unidad de control maestra. Cada unidad de control auxiliar está adaptada para

5 controlar un grupo respectivo de dispositivos de retardo eléctrico remotos con cargas eléctricas asociadas. Cada
 unidad de control auxiliar incluye un medio de control local para generar las señales de control locales a partir de las
 señales de control maestras que están sincronizadas con las señales de control locales de otras unidades de control
 auxiliares, para iniciar la operación de los dispositivos de retardo, de tal manera que se pueda realizar una gran
 10 voladura de una manera perfectamente sincronizada. La unidad de control maestra puede transmitir las señales de
 programación maestras a las unidades de control auxiliares, programando cada una los dispositivos de retardo
 eléctrico de su grupo respectivo. La sincronización de las señales de control locales puede lograrse de varias
 maneras diferentes. También se describe un método para activar una pluralidad de grupos de cargas eléctricas. Se
 dice que la disposición es para proporcionar una precisión de temporización de retardo de al menos 0,1 ms, pero no
 existe ninguna sugerencia de los intervalos de retardo mínimos.

15 El documento WO02/099356 está dirigido a un conjunto de retardo electrónico de detonador, que tiene un detonador
 asociado, que puede preprogramarse en el sitio con un retardo de tiempo e instalarse en una perforación para
 realizar una operación de voladura. El conjunto se acopla primero a una unidad de programación para programar el
 retardo de tiempo deseado, y a continuación a una unidad de voladura, por medio de un dispositivo de acoplamiento
 magnético en el conjunto de retardo electrónico y a un solo paso de un cable conductor a través del dispositivo de
 20 acoplamiento magnético. El retardo de tiempo programado en el conjunto de retardo electrónico puede verificarse
 dos veces a través de un enlace de comunicación inalámbrica entre el conjunto de retardo electrónico y la unidad de
 programación. La divulgación se refiere a intervalos de retardo de 25 o 30 ms que son comunes en la industria para
 los detonadores pirotécnicos. No existe una divulgación de intervalos de retardo mínimos para los detonadores
 electrónicos usados en el conjunto, pero existe una divulgación de la cuenta atrás de los detonadores en
 milisegundos enteros a partir de un tiempo de referencia común.

25 La presente invención está dirigida específicamente a un aparato de voladura para ejecutar un plan de voladura para
 al menos dos detonadores cada uno programable con un tiempo de retardo, comprendiendo el aparato de voladura
 al menos una máquina de voladura para transmitir, opcionalmente de manera inalámbrica, al menos una señal de
 orden que al menos incluye una señal de DISPARO a al menos dos detonadores asociados, así como a métodos y
 aparatos que usan tales aparatos de voladura.

30 En este momento, los dispositivos de iniciación de voladura más precisos que están ampliamente disponibles
 comercialmente incluyen los detonadores electrónicos. Tales detonadores electrónicos pueden programarse con
 tiempos de retardo con un grado de precisión normalmente de 1 ms completo. Este grado de precisión es
 conveniente y familiar para los expertos en la materia, quienes diseñan los eventos de voladura dentro de los
 parámetros de precisión de tiempo de 1ms. No obstante, sigue existiendo la necesidad en la técnica de mejoras de
 35 la seguridad y la eficacia de los sistemas de voladura, ya sean aplicados a la fragmentación de las rocas para la
 minería, o a operaciones sísmicas.

Sumario de la invención

40 Es un objeto de la presente invención proporcionar un aparato de voladura que implique al menos dos detonadores
 electrónicos, que exhiban tiempos de retardo seleccionables con una precisión mejorada sobre los detonadores
 electrónicos y los aparatos de voladura de la técnica anterior.

45 Es otro objeto de la invención proporcionar un aparato de evaluación sísmica, un método de voladura y un método
 de análisis sísmico, usando cada uno el aparato de voladura de la invención.

De acuerdo con la invención, el aparato de voladura comprende además al menos dos detonadores, cada uno
 programable con un tiempo de retardo seleccionable con una precisión de aproximadamente 0,1 ms o mejor y
 comprendiendo cada uno:

- 50 i) una carga base;
- ii) un circuito de disparo que puede conectarse selectivamente a la carga base;
- iii) un medio de almacenamiento de energía para almacenar energía para la iniciación de la carga base a través
 del circuito de disparo;
- 55 iv) un oscilador que tiene una frecuencia fija y estable o calibrable de al menos aproximadamente 10 kHz;
- v) un medio de memoria para almacenar un tiempo de retardo correspondiente a un número de cuentas de dicho
 oscilador;
- vi) un receptor para recibir dicha al menos una señal de orden procedente de dicha máquina de voladura;

60 por lo que tras la recepción por dicho receptor de dicha señal de DISPARO, dicho oscilador comienza una cuenta
 atrás de dicho número de cuentas, y tras la finalización de dicha cuenta atrás dicho medio de almacenamiento de
 energía descarga dicha energía almacenada en el mismo en dicho circuito para iniciar dicha carga base.

65 Algunas otras realizaciones a modo de ejemplo proporcionan un aparato de evaluación sísmica para la evaluación
 sísmica de una geología o la estructura subterránea, comprendiendo el aparato un aparato de voladura como se ha
 descrito anteriormente de tal manera que la iniciación de cada uno de los al menos dos detonadores provoca unas

ondas de choque a través de o inherentes a dicha geología o estructura subterránea, así como unas ondas de choque reflejadas o refractadas por dicha geología o estructura subterránea, interfiriendo dichas ondas de choque opcionalmente entre sí; y en el que el aparato incluye además al menos un receptor de ondas de choque para recibir dichas ondas de choque transmitidas a través de o inherentes a dicha geología o estructura subterránea, o ondas de choque reflejadas o refractadas por dicha geología o estructura subterránea, permitiendo de este modo la recopilación de datos indicativos de dicha geología o estructura subterránea.

Algunas otras realizaciones a modo de ejemplo proporcionan un método de voladura, que comprende las etapas de:

- (1) proporcionar un aparato de voladura como el descrito anteriormente;
- (2) colocar los al menos dos detonadores en el sitio de la voladura;
- (3) programar los al menos dos detonadores con tiempos de retardo con una precisión de aproximadamente 0,1 ms o mejor, estando dichos tiempos de retardo almacenados en cada medio de memoria como un número de cuentas para cada oscilador correspondiente; y
- (4) transmitir una señal de orden para DISPARAR desde cada dicha al menos una máquina de voladura a dichos al menos dos detonadores, haciendo de este modo que cada oscilador cuente hacia atrás su número respectivo de cuentas tras la terminación de lo cual se inicia una carga base asociada;

en el que las etapas (2) y (3) pueden realizarse en cualquier orden o simultáneamente.

Algunas otras realizaciones a modo de ejemplo proporcionan un método para el análisis sísmico de la geología o la estructura subterránea, comprendiendo el método el método de voladura descrito anteriormente realizado de tal manera que la iniciación de cada uno de los al menos dos detonadores provoca unas ondas de choque a través o inherentes a dicha geología o estructura subterránea, así como unas ondas de choque reflejadas o refractadas por dicha geología o estructura subterránea, interfiriendo dichas ondas de choque opcionalmente entre sí, y

- (5) recoger datos a través de al menos un receptor de ondas de choque, que corresponden a dichas ondas de choque transmitidas a través de o inherentes a dicha geología o estructura subterránea, y/o unas ondas de choque reflejadas o refractadas por dicha geología o estructura subterránea indicativas de dicha geología o estructura subterránea.

Algunas otras realizaciones a modo de ejemplo proporcionan un método de voladura como se ha descrito anteriormente para fragmentar una roca perforada con perforaciones, en el que la etapa de colocar los al menos dos detonadores en el sitio de voladura comprende insertar en cada perforación un material explosivo y un detonador electrónico asociado de tal manera que la iniciación de la carga base en cada detonador provoca la detonación del material explosivo y los tiempos de retardo de los al menos dos detonadores se programan de tal manera que las ondas de choque resultantes de la detonación de los materiales explosivos interfieren para provocar una fragmentación eficaz de la roca localizada entre o cerca de las perforaciones.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra esquemáticamente una vista en alzado frontal de una parte de la roca a volar a los efectos de tubificación, con perforaciones mostradas.

La figura 2 ilustra esquemáticamente una vista en planta superior de las filas de las perforaciones en la roca a volar.

La figura 3 proporciona una gráfica para ilustrar esquemáticamente una relación entre la carga del retardo de perforación en ms por m de separación de las perforaciones (eje x) y el tamaño de roca que sigue a la fragmentación procedente de la voladura (eje y).

Definiciones:

'Accionar' o 'iniciar' - se refiere a la iniciación, ignición o activación de materiales explosivos, normalmente por medio de un cebador, detonador u otro dispositivo capaz de recibir una señal externa y convertir la señal para provocar la deflagración del material explosivo.

'Aproximadamente' - en general precede a un parámetro establecido para indicar que el parámetro puede ser flexible en relación con lo que en realidad se establece. Por ejemplo, "aproximadamente 0,1 ms" incluye "0,1 ms +/- un 25 %", "0,1 ms +/- un 10 %" y "0,1 ms +/- un 1 %". Del mismo modo, "al menos aproximadamente 10kHz" incluye "al menos 10kHz +/- un 25 %", "al menos 10kHz +/- un 10 %", y "al menos 10kHz +/- un 1 %". La variación de parámetros adicional aparte de los establecidos en el presente documento también puede estar abarcada por el término "aproximadamente" en función del contexto.

'Evento de voladura automatizada/automática' - abarca todos los métodos y sistemas de voladura que son susceptibles de establecerse a través de medios remotos, por ejemplo, empleando sistemas robóticos en el sitio de voladura. De esta forma, los operadores de voladura pueden configurar un sistema de voladura, incluyendo una serie de detonadores y cargas explosivas, en el sitio de voladura desde una localización remota, y controlar los

ES 2 659 712 T3

sistemas robóticos para configurar el sistema de voladura sin necesidad de estar en las proximidades del sitio de voladura.

5 'Carga base' - hace referencia a cualquier parte discreta del material explosivo que se encuentre cerca de otros componentes del detonador y que esté asociada con esos componentes de una manera que permita que el material explosivo se accione cuando reciba las señales apropiadas procedentes de los otros componentes. La carga base puede estar retenida dentro de la carcasa principal de un detonador, o como alternativa puede estar localizada cerca de la carcasa principal de un detonador. La carga base puede usarse para entregar una potencia de salida a una carga de explosivos externa para iniciar la carga de explosivos externa.

10 'Máquina de voladura' - cualquier dispositivo que sea capaz de estar en comunicación de señal con los detonadores electrónicos, por ejemplo, para enviar señales ARM, DISARM, y DISPARO a los detonadores, y/o para programar los detonadores con tiempos de retardo y/o códigos de disparo. La máquina de voladura también puede ser capaz de recibir información tal como tiempos de retardo o códigos de disparo desde los detonadores directamente, o esto puede lograrse a través de un dispositivo intermedio para recoger información de detonador y transferir la información a la máquina de voladura, tal como un registrador.

15 'Potenciador' - se refiere a cualquier dispositivo de la presente invención que pueda recibir señales de órdenes inalámbricas desde una máquina de voladura asociada, y en respuesta a las señales apropiadas tales como una señal inalámbrica para DISPARAR, puede provocar el accionamiento de una carga explosiva que forma un componente integral del potenciador. De esta forma, el accionamiento de la carga explosiva puede inducir el accionamiento de una cantidad externa del material explosivo, tal como material descargado en una perforación en la roca. En las realizaciones seleccionadas, un potenciador puede comprender la siguiente lista no limitativa de componentes: un detonador que comprende un circuito de disparo y una carga base; una carga explosiva en asociación operativa con dicho detonador, de tal manera que el accionamiento de dicha carga base a través de dicho circuito de disparo provoca el accionamiento de dicha carga explosiva; un transceptor para recibir y procesar dicha al menos una señal de orden inalámbrica procedente de dicha máquina de voladura, dicho transceptor en comunicación de señal con dicho circuito de disparo de tal manera que tras recibir una señal de orden para DISPARAR dicho circuito de disparo provoca el accionamiento de dicha carga base y el accionamiento de dicha carga explosiva.

20 'Perforación' - en general se refiere a un orificio o rebaje alargado, preferentemente de forma cilíndrica, perforado en una sección de roca para cargar, por ejemplo, materiales explosivos y cebadores de iniciación para accionar los materiales explosivos. Sin embargo, las perforaciones pueden tener cualquier forma que sea susceptible de recibir materiales explosivos.

25 'Carga' - se refiere a un espesor de la roca entre una perforación cercana o fila de perforaciones (en las que puede cargarse una carga o cargas explosivas) y la superficie o cara libre de la roca formada, por ejemplo, a partir de un evento de voladura anterior. También puede referirse a una carga como un espesor de roca que debe eliminarse mediante un evento de voladura, tal como la detonación de una carga explosiva en una perforación o una fila de perforaciones.

30 'Estación de órdenes central' - se refiere a cualquier dispositivo que transmite señales a través de una transmisión de radio o por conexión directa a una o más máquinas de voladura. Las señales transmitidas pueden estar codificadas o encriptadas. Normalmente, la estación de voladura central permite la comunicación por radio con múltiples máquinas de voladura desde una localización remota al sitio de voladura.

35 'Carga/cargar' - se refiere a un proceso de suministro de energía eléctrica desde una fuente de alimentación a un dispositivo de almacenamiento de energía, con el objetivo de aumentar una cantidad de carga eléctrica o energía almacenada por el dispositivo de almacenamiento de energía. Como se desea en las realizaciones preferidas, la carga en el dispositivo de almacenamiento de energía supera un umbral suficientemente alto de tal manera que la descarga del dispositivo de almacenamiento de energía a través de un circuito de disparo provoca el accionamiento de una carga base asociada con el circuito de disparo.

40 'Reloj' - abarca cualquier reloj adecuado para su uso junto con un aparato de voladura y un detonador o conjunto de detonador de la invención, por ejemplo, para medir los tiempos de retardo para el accionamiento del detonador durante un evento de voladura. En las realizaciones específicamente preferidas, el término reloj se refiere a un reloj de cristal, que comprende, por ejemplo, un cristal de cuarzo oscilante de un tipo bien conocido, por ejemplo, en relojes de cuarzo convencionales y dispositivos de temporización. Los relojes de cristal pueden proporcionar una temporización específicamente precisa de acuerdo con los aspectos preferidos de la invención.

45 'Medios de conversión' - hace referencia a cualquier componente de hardware o software que recibe información sobre un tiempo de retardo específico para un detonador, y convierte el tiempo de retardo en un número de cuentas de oscilación para un reloj asociado con el detonador, de acuerdo con la velocidad del reloj.

50

5 'Detonador' - se refiere a cualquier detonador que incluye una carga base que puede accionarse tras recibir el detonador una señal de orden de DISPARO. Normalmente, un detonador incluirá un armazón de detonador para retener la carga base y otros componentes del detonador, si están presentes. Dichos otros componentes pueden incluir medios para recibir y/o procesar señales de órdenes entrantes u opcionalmente medios de memoria para almacenar datos que incluyen pero no se limitan a: códigos de identificación de detonador, tiempos de disparo, tiempos de retardo, tiempos de respuesta anticolidión, etc. El término "detonador" puede intercambiarse con "conjunto de detonadores" si corresponde.

10 'Conjunto de detonadores' - se refiere a cualquier conjunto que comprende un detonador (que comprende en su forma mínima una carga base accionable tras recibir el detonador una señal de orden de DISPARO) junto con al menos otro componente. Dichos otros componentes pueden incluir, pero no están limitados a: medios para recibir y/o procesar señales de órdenes entrantes u opcionalmente medios de memoria para almacenar datos que incluyen, pero no se limitan a: códigos de identificación de detonador, tiempos de disparo, tiempos de retardo, tiempos de respuesta anticolidión, etc., una carcasa de potenciador, una carga explosiva de potenciador, una carga explosiva, un transmisor, un receptor, un transceptor, etc. En función del contexto, la expresión "conjunto detonador" puede intercambiarse con "detonador" si corresponde.

20 'Medio de almacenamiento de energía' - se refiere a cualquier dispositivo capaz de almacenar carga o energía eléctrica. Un dispositivo de este tipo puede incluir, por ejemplo, un condensador, un diodo, una batería recargable o una batería activable. Al menos en las realizaciones preferidas, la diferencia de potencial de la energía eléctrica usada para cargar el dispositivo de almacenamiento de energía es menor o significativamente menor que la diferencia de potencial de la energía eléctrica tras la descarga del dispositivo de almacenamiento de energía en un circuito de disparo. De esta forma, el dispositivo de almacenamiento de energía puede actuar como un multiplicador de tensión, en el que el dispositivo permite la generación de una tensión que supera una tensión umbral predeterminada para provocar el accionamiento de una carga base conectada al circuito de disparo.

30 'Carga explosiva' o 'Material explosivo' - incluye una parte discreta de una sustancia explosiva contenida, por ejemplo, o sustancialmente contenida dentro de una perforación. La carga explosiva es normalmente de una forma y tamaño suficiente para recibir la energía obtenida de la activación de una carga base de un detonador, provocando de este modo la ignición de la carga explosiva. Cuando la carga explosiva está localizada adyacente o próxima a una cantidad adicional de material explosivo, tal como por ejemplo un material explosivo cargado en una perforación en la roca, entonces la ignición de la carga explosiva puede, bajo determinadas circunstancias, ser suficiente para provocar la ignición de toda la cantidad del material explosivo, provocando de este modo la voladura de la roca. La constitución química de la carga explosiva puede tener cualquier forma conocida en la técnica, más preferentemente la carga explosiva puede comprender TNT o pentolita.

40 'Vibraciones terrestres' - se refieren a vibraciones no deseadas dentro y alrededor de un sitio de voladura que a veces no contribuyen a la fragmentación o fractura de la roca o al análisis sísmico. Tales vibraciones terrestres pueden provocar una disrupción no deseada de las estructuras o estratos rocosos o subterráneos y generar problemas de seguridad. Las vibraciones terrestres excesivas pueden provocarse, por ejemplo, por interferencia positiva de las ondas de choque propagadas a partir de cargas explosivas en múltiples perforaciones sustancialmente al mismo tiempo o en un momento similar.

45 'Interferencia' o 'interacción' - se refiere a la interacción de al menos algunas ondas de choque provenientes de diferentes fuentes (por ejemplo, de la misma perforación o de diferentes perforaciones) o de la misma fuente original (por ejemplo, las ondas de choque originadas por la detonación de una sola carga explosiva, pero reflejadas y refractadas por las estructuras subterráneas) para dar sitio a una disrupción mejorada, una fragmentación o fractura de la roca entre o cerca de los perforaciones. Por ejemplo, las ondas de choque pueden cooperar para dar sitio a fuerzas de corte para ayudar a mejorar aún más la rotura y la disrupción de la roca.

50 La interacción de ondas también se usa en inspecciones sísmicas para ayudar a cartografiar estructuras subterráneas. La interferencia de las ondas de choque no solo se refiere a la colisión de las partes de compresión de dos ondas de choque. Puede encontrarse que los beneficios se logran al hacer que la parte de compresión de una primera onda de choque interactúe con la onda de corte arrastrando una segunda onda de choque. Como alternativa, el tiempo de voladura puede diseñarse con el fin de evitar, pero por muy poco, la interacción de las partes de compresión de dos ondas de choque. Como alternativa, puede ser deseable disponer que una segunda onda de choque interactúe en un punto específico en el desarrollo del patrón de fractura después de una primera onda de choque.

60 'Registrador / Dispositivo de registro' - incluye cualquier dispositivo adecuado para registrar información con respecto a los componentes del aparato de voladura de la presente invención, tal como los detonadores. El registrador puede transmitir o recibir información hacia o desde los componentes. Por ejemplo, el registrador puede transmitir datos a detonadores tales como, pero no limitados a, códigos de identificación de detonadores, tiempos de retardo, señales de sincronización, códigos de disparo, datos de posición, etc. Además, el registrador puede recibir información de un detonador que incluye, pero no se limita a, códigos de identificación de detonadores, tiempos de retardo, información sobre el entorno o el estado del detonador, información sobre la capacidad del detonador para comunicarse con una

máquina de voladura asociada. Preferentemente, el dispositivo de registro también puede registrar información adicional tal como, por ejemplo, códigos de identificación para cada detonador, información con respecto al entorno del detonador, la naturaleza de la carga explosiva en conexión con el detonador, etc. En las realizaciones seleccionadas, un dispositivo de registro puede formar parte integral de una máquina de voladura, o como alternativa puede pertenecer a un dispositivo distinto tal como, por ejemplo, una unidad programable portátil que comprende un medio de memoria para almacenar datos relacionados con cada detonador, y preferentemente medios para transferir estos datos a una estación de órdenes central o a una o más máquinas de voladura. Una función principal del dispositivo de registro es leer el detonador para que a continuación pueda “encontrarse” por una máquina de voladura asociada, y tener órdenes tales como las órdenes de DISPARO dirigidas al mismo según corresponda. Un registrador puede comunicarse con un detonador o mediante una conexión eléctrica directa (interfaz) o mediante una conexión inalámbrica de cualquier tipo.

‘Medio de memoria’ - hace referencia a cualquier componente de hardware o software que sea capaz de almacenar, o de manera temporal, semipermanente o permanente, un paquete de datos. Por ejemplo, un medio de memoria de un detonador o conjunto de detonadores como el desvelado en el presente documento puede estar asociado con un detonador específico, y almacenar la información de identificación de detonador y/o la información de tiempo de retardo específicas para programar, o el detonador o el conjunto de detonadores.

‘Oscilador’ - hace referencia a cualquier dispositivo electrónico capaz de generar una forma de onda recurrente, tal como una corriente alterna o tensión, o un proceso digital usado por un sintetizador para generar la misma. Un oscilador de este tipo puede incluir cualquier tipo de reloj, dispositivo de cristal o resonador cerámico, y la tasa de oscilación puede ajustarse o seleccionarse de acuerdo con una tasa deseada para una aplicación específica. De acuerdo con los osciladores usados en diversas realizaciones de la presente invención, la tasa de oscilación puede ser superior a 5 kHz, aproximadamente 10 kHz, o superior a 10 kHz, o superior a 20 kHz, o superior a 40 kHz.

‘Preferiblemente’ - identifica las características preferidas de la invención. A menos que se especifique lo contrario, el término preferentemente se refiere a las características preferidas de las realizaciones más amplias de la invención, como se define, por ejemplo, por las reivindicaciones independientes, y otras invenciones desveladas en el presente documento.

‘Receptor’ - se refiere a cualquier dispositivo que pueda recibir y/o transmitir señales (ya sea que se reciban a través de una conexión cableada o de manera inalámbrica). Aunque el término “receptor” abarca tradicionalmente un dispositivo que solo puede recibir señales, un receptor cuando se usa de acuerdo con la presente invención incluye un dispositivo que puede funcionar tanto como receptor como transmisor de señales. Por ejemplo, bajo circunstancias específicas, el receptor puede estar localizado en una posición donde puede recibir señales de una fuente, pero no puede transmitir señales de vuelta a la fuente o a otra parte. En unas realizaciones muy específicas, donde el receptor forma parte de un potenciador o conjunto de detonadores inalámbricos localizados bajo tierra, el receptor puede recibir señales a través de la roca desde una fuente inalámbrica localizada sobre una superficie del suelo, pero no puede volver a transmitir la señal a través de la roca a la superficie. En estas circunstancias, el receptor opcionalmente puede tener cualquier función de transmisión de señal deshabilitada o ausente. En otras realizaciones, el receptor puede transmitir señales solo a un registrador a través de una conexión eléctrica directa, o como alternativa a través de señales inalámbricas de corto alcance. En otras realizaciones, un receptor puede comprender una memoria para almacenar un tiempo de retardo, y puede programarse con un tiempo de retardo (esto es especialmente útil cuando el detonador y sus componentes no pueden programarse, como puede ser el caso, por ejemplo, con un detonador pirotécnico no eléctrico, eléctrico o seleccionado).

‘Roca’ - incluye todos los tipos de roca, incluidas las pizarras, etc.

‘Seleccionable con una precisión de X ms o mejor’ - se refiere a los tiempos de retardo seleccionables de acuerdo con los aparatos de voladura, sus componentes y los métodos de la presente invención, que pueden seleccionarse con un alto grado de precisión. Por ejemplo, los tiempos de retardo pueden seleccionarse y programarse con una precisión cercana a la décima de milisegundo o incluso mejor, incluida, por ejemplo, una precisión cercana a la vigésima, quincuagésima o centésima de milisegundos más cercana. Para mayor claridad, el término “mejor” en este contexto se refiere a un período de tiempo aún más pequeño (es decir, un alto grado de resolución temporal) en relación con la cantidad de milisegundos realmente especificada. Por lo tanto, la expresión “una precisión de 0.1ms o mejor” abarcaría un tiempo de retardo programado al 0,1 ms más cercano, un tiempo de retardo programado al 0,05 ms más cercano, y un tiempo de retardo programado al 0,01 ms más cercano.

‘Onda de choque’ - se refiere a un cambio de difusión abrupto pero constante en la densidad, la presión y/o la temperatura del material (por ejemplo, roca) a explotar. Una onda de choque de este tipo puede desarrollarse cuando se libera una gran cantidad de energía, por ejemplo, iniciando una cantidad de material explosivo, tal como el material explosivo localizado en una perforación en una roca, con la ayuda de un detonador electrónico. La primera línea de esta energía de difusión representa una onda de choque. Una onda de choque también puede considerarse una onda de compresión cuya velocidad supera una velocidad normal del sonido en un medio tal como una roca, o una presión de propagación de la onda de compresión muy por encima de la resistencia de un material

en el que se propaga la onda de choque y proporcionado de este modo un aumento de presión muy pronunciado en el que los efectos viscosos y la conductividad térmica conducen a un aumento de la entropía.

5 'Decodificador' - hace referencia a cualquier dispositivo que forme parte de un conjunto de detonadores inalámbricos que esté adaptado para su localización en o cerca de la superficie del suelo cuando el conjunto de detonadores inalámbricos está en uso en un sitio de voladura en asociación con una perforación y una carga explosiva localizada en la misma. Las cajas superiores normalmente se localizan sobre el suelo o al menos en una posición en, o cerca de la perforación, que es más adecuada para la recepción y la transmisión de las señales inalámbricas, y/o para retransmitir estas señales al detonador en la perforación. En las realizaciones preferidas, cada decodificador
10 comprende uno o más componentes seleccionados del conjunto de detonadores inalámbricos de la presente invención.

15 'Conjunto de detonadores inalámbricos' - se refiere en general a un conjunto que abarca un detonador, más preferentemente un detonador electrónico (que comprende normalmente al menos un armazón de detonador y una carga base) así como unos medios de recepción y procesamiento de la señal inalámbrica para provocar la activación de la carga base tras la recepción por dicho conjunto de detonadores inalámbricos de una señal inalámbrica a DISPARAR desde al menos una máquina de voladura asociada. Por ejemplo, tales medios para provocar el accionamiento pueden incluir un medio de recepción de señales, un medio de procesamiento de señales, y un
20 circuito de disparo para activarse en el caso de una recepción de una señal de DISPARO. Los componentes preferidos del conjunto de detonadores inalámbricos pueden incluir además un medio para transmitir de manera inalámbrica la información relativa al conjunto a otros conjuntos o a una máquina de voladura, o a unos medios para retransmitir señales inalámbricas a otros componentes del aparato de voladura. Otros componentes preferidos de un conjunto de detonadores inalámbricos serán evidentes a partir de la memoria descriptiva como un todo. La expresión "conjunto de detonadores inalámbricos" puede, en unas realizaciones muy específicas, relacionarse simplemente
25 con un dispositivo de retransmisión de señales inalámbricas, sin ninguna asociación con un detonador de retardo electrónico o cualquier otra forma de detonador. En tales realizaciones, tales dispositivos de retransmisión pueden formar líneas troncales inalámbricas para simplemente retransmitir señales inalámbricas desde y hacia aparatos de voladura, mientras que otros conjuntos de detonador inalámbricos en comunicación con los dispositivos de retransmisión pueden comprender todas las características habituales de un conjunto de detonadores inalámbricos, incluyendo un detonador para el accionamiento del mismo, formando en efecto líneas de troncales inalámbricas en la red inalámbrica. Un conjunto de detonadores inalámbricos puede incluir además un decodificador como se define en el presente documento, para retener los componentes específicos del conjunto alejados de una parte subterránea del conjunto durante la operación, y para la localización en una posición más adecuada para la recepción de las señales inalámbricas obtenidas, por ejemplo, de una máquina de voladura o retransmitidas por otro conjunto de
30 detonadores inalámbricos.

35 'Inalámbrico' - se refiere a que no existan conexiones físicas (tales como cables eléctricos, tubos de choque, LEDC, o cables ópticos) que conecten el detonador de la invención o los componentes del mismo a una máquina de voladura asociada o a una fuente de energía.

40 'Potenciador electrónico inalámbrico' - se refiere en general a un dispositivo que comprende un detonador, lo más preferentemente un detonador electrónico (que comprende normalmente al menos un armazón de detonador y una carga base), así como un medio para provocar el accionamiento de la carga base tras la recepción por dicho potenciador de una señal de DISPARO procedente de al menos una máquina de voladura asociada. Por ejemplo, dicho medio para provocar el accionamiento puede incluir un transceptor o un medio de recepción de señales, un medio de procesamiento de señales, y un circuito de disparo a activarse en el caso de una recepción de una señal de DISPARO. Los componentes preferidos del potenciador inalámbrico pueden incluir además, unos medios para transmitir información en relación con el conjunto a otros conjuntos o a una máquina de voladura, o unos medios para retransmitir señales inalámbricas a otros componentes del aparato de voladura. Tales medios para transmitir o retransmitir pueden formar parte de la función del transceptor. Otros componentes preferidos de un potenciador inalámbrico serán evidentes a partir de la memoria descriptiva como un todo. Otros ejemplos de potenciadores electrónicos inalámbricos se desvelan por ejemplo en la publicación de patente internacional WO 07/124539 publicada el 8 de noviembre de 2007.

55 'Detonador de retardo electrónico inalámbrico (WEDD)' - se refiere a cualquier detonador de retardo electrónico que es capaz de recibir y/o transmitir señales inalámbricas a/desde otros componentes de un aparato de voladura. Normalmente, un WEDD toma la forma de, o forma una parte integral de, un conjunto de detonadores inalámbricos como se describe en el presente documento.

60 Descripción detallada de la invención

Los detonadores electrónicos se conocen, en general, en la técnica con una capacidad de programación de tiempo de retardo a la milésima de segundo más cercana. Sin embargo, los inventores reconocen que serían deseable unos aparatos de voladura y los detonadores correspondientes que tengan incluso mayores grados de precisión de tiempo de retardo, tanto para aplicaciones de minería como sísmicas. Con este fin, los inventores han desarrollado unos detonadores y los aparatos de voladura correspondientes que emplean tales detonadores, que permiten la
65

ejecución de un evento de voladura con muchos mayores grados de precisión en comparación con los de la técnica anterior. Estos han presentado ventajas significativas e inesperadas sobre la técnica anterior como se pondrá de manifiesto a partir de la divulgación en el presente documento.

5 A través de una cuidadosa consideración, los inventores han revisado los requisitos para la interferencia de ondas de choque en un sitio de voladura. Las ondas de choque resultantes de la detonación de cargas explosivas normalmente viajan a través de la roca a unos 2000-6000 m/s. Además, la velocidad sónica de la roca varía normalmente de aproximadamente 2500-5500 m/s (aunque esto puede variar de acuerdo con el material de la roca, estructura de la roca, el contenido de agua, etc.). Se deduce que las ondas de choque resultantes de la iniciación de
10 cargas explosivas pueden normalmente tener una velocidad del orden de aproximadamente 5000 m/s, o 5 metros por milisegundo. Por lo tanto, si el momento de la iniciación de las cargas explosivas se controla con una precisión de tiempo de +/- 1 ms, entonces las ondas de choque que se propagan pasando a través de la roca tendrán un frente de onda de choque progresiva en una posición que puede variar hasta 5 metros en relación con su posición de 'esperada' en la roca.

15 Cuando se produce una voladura para fragmentar roca, las perforaciones se perforan a menudo en la roca en distancias de 0,5 m a 20 m (más normalmente de 3-10 m de separación) en las que se inserta un material explosivo.

20 A menudo, las perforaciones están localizadas una respecto a otra de una manera precisa para lograr un patrón de voladura deseado. Sin embargo, de acuerdo con el análisis de los inventores, la propagación típica de una onda de choque (sobre la base de la precisión del tiempo de retardo al milisegundo más cercano) representa un grado de precisión relativamente pobre en relación con la separación de las perforaciones, y las cargas retenidas en las mismas. Después de todo, como se ha tratado anteriormente, en cualquier momento puede conocerse la posición de la onda de choque con una precisión de tan solo 10 metros (+/- 5 metros) desde una posición 'esperada', y sin
25 embargo las perforaciones a menudo se encuentran más cerca que 10 metros unas de otras. Se deduce que la interferencia precisa de las ondas de choque de perforaciones adyacentes o próximas, de una manera calculada, es difícil o imposible de lograr con la tecnología actual implicando una temporización de retardo a la milésima de segundo más cercana.

30 En vista de lo anterior, los inventores reconocen la importancia de la interferencia de las ondas de choque, y de manera importante la necesidad del control de tal interferencia a través de un control mucho más preciso de los tiempos de retardo para la iniciación de los detonadores. Con la precisión de tiempo de retardo al milisegundo más cercano, es difícil o imposible regular la interferencia de ondas de choque entre las perforaciones adyacentes a pocos metros de distancia. Un mayor grado de precisión de tiempo de retardo se requeriría si es más precisa y
35 regulada la interferencia de ondas de choque a lograr. Si un operador de voladura desea alcanzar una interferencia de ondas de choque de las ondas de choque solo de 2-3 metros de una perforación, es necesario controlar y tener conocimiento de una posición de una onda de choque que emana de una perforación adyacente con una precisión de menos de 1 metro, preferentemente menos de 0,5 m. A su vez, esto requiere una capacidad de regular los tiempos de retardo de los detonadores en el sitio de la voladura con una precisión de 0,1 ms o mejor. De hecho, en
40 ciertas aplicaciones de ingeniería de explosivos en perforaciones de espacio cerrado, tales como la tubificación, sería preferible ser capaces de controlar la posición de ondas de choque dentro de unos 10 cm.

45 Por lo tanto, la invención proporciona aparatos de voladura y los métodos correspondientes para la voladura, que implican el uso de detonadores capaces de programarse con tiempos de retardo seleccionables con una precisión de aproximadamente 0,1 ms o mejor. Tales aparatos y métodos presentan ventajas significativas. Por ejemplo, en el campo de la minería es deseable lograr la fragmentación de la roca, preferentemente con un movimiento simultáneo de la roca fragmentada de una manera adecuada para la posterior recuperación y recogida de la roca fragmentada en el sitio de la voladura. Por lo tanto, es deseable que la roca se fragmente suficientemente de tal manera que una mayoría de la roca fragmentada pueda cargarse directamente en vehículos de transporte sin necesidad previa de un procesamiento o fragmentación adicional. Con este fin, la invención permite mejorar la interferencia de las ondas de
50 choque en un sitio de voladura para mejorar la fragmentación de la roca. Por ejemplo, los detonadores y sus correspondientes cargas explosivas pueden estar dispuestos en el sitio de voladura en grupos, con tal vez solo unos pocos metros de distancia entre las perforaciones adyacentes de un solo grupo. Las perforaciones en un grupo pueden disponerse un tanto de manera aleatoria, por ejemplo, dentro de un área limitada, o pueden disponerse de una manera más definida, por ejemplo, en una fila. En cualquier caso, los detonadores asociados con las perforaciones (y las cargas explosivas dentro de las mismas) pueden programarse con tiempos de retardo para que los detonadores adyacentes (es decir, los pares de detonadores que están más cerca entre sí que a otros detonadores en el grupo) se accionen al mismo tiempo, o casi simultáneamente, tras recibir una señal de orden de DISPARO desde una máquina de voladura asociada. Por ejemplo, los detonadores dispuestos en una fila de
55 perforaciones pueden programarse de tal manera que cada detonador en la fila se acciona 0,1 ms después del accionamiento del detonador anterior de la fila. De esta manera, la fila de los detonadores puede accionarse de tal manera que cada detonador se inicia en un momento distinto a todos los demás detonadores de la fila, pero todos los detonadores se disparan dentro de una ventana de tiempo muy corta, tal vez menos de uno o unos pocos milisegundos de duración. Puede hacerse que los detonadores y sus cargas explosivas asociadas con otros grupos en el sitio de voladura (por ejemplo, otras filas) se accionen al mismo tiempo, o dentro de una ventana de tiempo de
60

solapamiento, como el primer grupo. Como alternativa, los otros grupos pueden accionarse quizás varios milisegundos después del primer (o de otros) grupos para ayudar a reducir las vibraciones del suelo no deseadas.

5 En cualquier caso, la temporización del detonador se acciona con una precisión de tiempo de retardo de 0,1 ms o mejor, lo que logra una interferencia de ondas de choque excelente entre las cargas explosivas adyacentes y/o cercanas ayudando a lograr mejoras dramáticas en la fragmentación de la roca y/o el movimiento.

10 Otras realizaciones de los aparatos y métodos de la invención pueden aplicarse a la prospección sísmica. Por lo general, la prospección sísmica implica la iniciación de las cargas explosivas para producir ondas de choque que viajan a través del suelo, rocas y estructuras subterráneas. La monitorización posterior de la interacción de las ondas de choque con las capas o las estructuras subterráneas, que incluye la recepción de las ondas de choque que se han reflejado, refractado o de otro modo desviados por tales capas o estructuras, o las interfaces entre las mismas, puede proporcionar prospecciones sísmicas con información valiosa. Por ejemplo, tal información puede permitir una 'cartografía' sísmica para investigar localizaciones de minerales, petróleo o depósitos de gas debajo de la tierra o
15 debajo del mar.

20 Normalmente, la cartografía sísmica implica el uso de dos (posiblemente más) cargas explosivas que se detonan simultáneamente, pero espacialmente separadas entre sí. La interacción de dos conjuntos de ondas de choque con otros, así como con estructuras y capas subterráneas, mejora aún más la calidad y la cantidad de datos disponibles para el análisis. En efecto, las estructuras y las capas subterráneas debajo de la misma zona de terreno (o mar) se "ven" desde más de un ángulo u orientación. Por ejemplo, una carga explosiva puede accionarse solo para el norte de una zona en estudio, con la recepción de señales por un receptor justo al sur de la zona. Al mismo tiempo, puede accionarse una carga explosiva solo hacia el sur de la misma zona en estudio, con la recepción de señales por un receptor justo al norte de la zona. La comparación y la correlación de los datos desde cada "punto de vista" de la
25 zona de estudio, pueden mejorar la calidad general del análisis sísmico, puede permitir el rechazo de anomalías en los datos, y la reducción del ruido.

30 La interacción de las ondas de choque durante el análisis sísmico puede proporcionar información valiosa, y enriquecer la calidad de los datos disponibles, específicamente cuando la interacción implica ondas de choque de cargas explosivas separadas entre sí. Sin embargo, hasta la fecha el análisis de la interacción de ondas de choque solo es práctico si las ondas de choque se obtienen a partir de las cargas explosivas que se inician simultáneamente. En el campo, las cargas explosivas para la prospección sísmica pueden estar localizadas a muchos metros, tal vez muchos cientos de metros, unas de otras. Incluso con una precisión de milisegundos para los tiempos de retardo (según lo permitido por los sistemas de voladura electrónicos conocidos en la técnica), la
35 regulación de la interacción de ondas de choque es extremadamente difícil de lograr o predecir a menos que las cargas explosivas se inicien precisamente en el mismo tiempo. El uso de tiempos de retardo, para retardar una carga explosiva en comparación con otra, uno o múltiples milisegundos es poco práctico ya que las posiciones relativas de las ondas de choque obtenidas de cada carga explosiva solo pueden estimarse con una precisión muy limitada. Por lo tanto, los datos sísmicos resultantes son solo de uso limitado, ya que el geólogo que emprende el estudio no puede estar seguro de cómo o dónde las ondas de choque de diferentes fuentes interactúan en el
40 entorno subterráneo.

45 En este caso, la presente invención, al menos en las realizaciones preferidas, presenta unas ventajas significativas para la prospección sísmica. Los aparatos y los métodos de la invención permiten cargas explosivas a accionarse dentro de una precisión de tiempo de retardo de aproximadamente 0,1 ms, o incluso mejor en algunos casos. De esta manera, el accionamiento de una primera carga explosiva puede seguirse, por ejemplo, mediante el accionamiento de una segunda carga explosiva localizada a 100 metros de la primera carga explosiva con un tiempo de retardo de 0,16 ms entre las cargas explosivas. El geólogo, usando un receptor adecuado, junto con herramientas de recuperación y de análisis de datos, sería capaz entonces de interpretar los datos sísmicos resultantes, seguro en el conocimiento del tiempo de retardo preciso que dio origen a los datos. Si es necesario, los ensayos sísmicos podrían repetirse a continuación usando la misma distancia de 100 metros y 0,16 ms de tiempo de retardo entre las cargas explosivas para confirmar los datos iniciales. Como alternativa, el ensayo sísmico se podría repetir, pero con parámetros ligeramente alterados. Por ejemplo, la primera carga explosiva podría iniciarse 0,16 ms después de la segunda carga explosiva. Como alternativa, podrían realizarse una serie de ensayos sísmicos con la
50 misma carga explosiva, localizada a la misma distancia de 100 metros de distancia, pero con 0 ms, 0,2 ms, 0,4 ms, 0,6 ms, 0,8 ms, 1,0 ms, 1,2 ms, 1,4 ms 1,6 ms, 1,8 ms, y 2,0 ms de separación. Los datos resultantes, y la correlación de los mismos, proporcionan una mayor profundidad de la información y una "imagen" mucho más precisa de las capas y las estructuras subterráneas. La resolución y la comparación basada en ordenador de los datos sísmicos en bruto totales, a través de unos algoritmos bien conocidos, permiten avances significativos en la calidad del análisis de datos, en virtud del uso de aparatos y métodos de voladura, capaces de disparar los
55 detonadores (y accionar las cargas explosivas asociadas) con una precisión de tiempo de retardo de 0,1 ms o mejor.

60 Cualquier experto en la materia reconocerá que, para los fines de prospección sísmica, podría realizarse una amplia gama de ensayos sísmicos usando tiempos de retardo muy específicos entre dos o más detonadores en el lugar de la voladura. Estos tiempos de retardo, y el alcance de los ensayos realizados, dependería de las condiciones predominantes, las capas y la estructura subterráneas, a través de la velocidad terrestre de las ondas de choque, y

otras variables en el sitio de la voladura. Por lo tanto, puede necesitarse un operador experto para adaptar el uso de los aparatos y los métodos de la invención de voladura a las necesidades específicas del sitio de ensayo.

Para clarificar, cualquiera de las realizaciones de los aparatos de voladura y los métodos correspondientes de la presente invención desvelada en el presente documento pueden implicar cualquier medio para comunicar entre cada máquina de voladura y cada detonador o conjunto de detonadores. Por ejemplo, esto incluye la comunicación cableada 'tradicional' que implica, por ejemplo, el uso de cables eléctricos, o una conexión física no eléctrica tal como un tubo de choque o un cordón de detonación de baja energía. En otras realizaciones, la invención abarca los aparatos de voladura y los métodos correspondientes que emplean un medio de comunicación inalámbrico para transmitir y recibir señales de comunicación inalámbricas, incluyendo señales de programación y/o de órdenes, entre cada aparato de voladura y cada detonador. Tales señales inalámbricas pueden implicar una energía electromagnética tal como ondas de radio, o, como alternativa, puede implicar luz láser, o medio acústicos.

Normalmente, pero no necesariamente, las máquinas de voladura pueden comunicarse de manera inalámbrica con un conjunto de detonador inalámbrico que comprende un detonador junto con otros componentes adecuados para la recepción, el procesamiento y opcionalmente la transmisión, de las señales inalámbricas. Tales otros componentes pueden estar localizados cerca o adyacentes al detonador, o pueden estar alojados dentro de un "decodificador" adaptado para estar localizado en o por encima de la superficie terrestre, por ejemplo, cuando el detonador está localizado dentro de una perforación en la roca en el sitio de la voladura. Ejemplos de aparatos de voladura inalámbricos, y componentes de los mismos, que se conocen en la técnica incluyen los desvelados en el documento WO 2006/047823 publicado el 11 de mayo de 2006, el documento WO 2006/076777 publicado el 27 de julio de 2006, el documento WO 2006/096920 publicado el 21 de septiembre de 2006, y el documento WO 2007/124539 publicado el 8 de noviembre de 2007.

Los siguientes ejemplos ilustran las realizaciones preferidas de la invención, y no pretenden de ninguna manera ser limitantes con respecto a las realizaciones más amplias de la invención como se reivindica.

Ejemplo 1 - Aparato de voladura con alta precisión

En una realización preferida de la invención, se proporciona un aparato de voladura para ejecutar un plan de voladura por al menos dos detonadores cada uno programable con un tiempo de retardo de voladura seleccionable con una precisión de aproximadamente 0,1 ms o mejor. En esta realización el aparato de voladura comprende: al menos una máquina de voladura para la comunicación de al menos una señal de orden a al menos dos detonadores asociados, pudiendo incluir la señal(s) de órdenes al menos una señal de DISPARO para disparar o iniciar los detonadores. El aparato de voladura puede comprender: al menos dos detonadores, comprendiendo cada uno:

- i) una carga base;
- ii) un circuito de disparo que puede conectarse selectivamente a la carga base;
- iii) un medio de almacenamiento de energía para almacenar energía para la iniciación de la carga base a través del circuito de disparo;
- iv) un oscilador que tiene una frecuencia fija y estable o calibrable de al menos aproximadamente 10 kHz;
- v) un medio de memoria para almacenar un tiempo de retardo correspondiente a un número de cuentas del oscilador;
- vi) un receptor para recibir la al menos una señal de orden procedente de la máquina de voladura;

por lo que tras la recepción por el receptor de dicha señal de DISPARO, el oscilador comienza una cuenta atrás de dicho número de cuentas, y tras la finalización de la cuenta atrás el medio de almacenamiento de energía descarga dicha energía almacenada en el mismo en el circuito de disparo para iniciar dicha carga base. De esta manera, cada detonador comprende un oscilador capaz de contar hacia atrás un tiempo de retardo con un grado de precisión de aproximadamente 0,1 ms o mayor. Por ejemplo, si el oscilador tiene una frecuencia de precisión de 10 kHz y se necesita un tiempo de retardo de 3,6 ms, entonces el oscilador (después de la recepción de una señal de orden de DISPARO) cuenta 36 cuentas del oscilador antes de que la energía se descargue en el circuito de disparo para disparar la carga base. Si el oscilador tiene una frecuencia de 20 kHz, entonces puede ser necesarias 72 cuentas del oscilador para conseguir el mismo tiempo de retardo. Preferentemente, el detonador incluye un medio para evaluar una frecuencia de oscilador, recalibrar opcionalmente el oscilador si es necesario, y calcular un número de cuentas de oscilador adecuadas para lograr un tiempo de retardo deseado.

El oscilador puede adoptar cualquier forma adecuada para lograr altas tasas de frecuencia, tales como 10 kHz. Por ejemplo, un oscilador puede adoptar la forma de cualquier reloj, dispositivo de cristal, u oscilador cerámico.

Preferentemente, el oscilador puede ser capaz de una frecuencia superior a 20 kHz o superior a 40 kHz, lo que mejora aún más la precisión de la programación y la ejecución del tiempo de retardo. En las realizaciones especialmente preferidas, el oscilador puede tener una frecuencia de hasta o más de aproximadamente 100 kHz, de tal manera que las cuentas de oscilador correspondientes pueden permitir que se logre una precisión de tiempo de retardo de dentro de 0,01 ms.

Cada detonador puede tener un oscilador de calibrado y un tiempo de retardo preprogramado establecido tras la fabricación en la fábrica, o al menos antes de la colocación en el sitio de la voladura. Sin embargo, en las realizaciones preferidas de la invención, cada detonador puede programarse de manera individual con un tiempo de retardo después de la colocación en el sitio de la voladura, y puede incluir unos medios de conversión para convertir cada tiempo de retardo en un número necesario de cuentas para lograr el tiempo de retardo deseado tras la recepción por el detonador de una señal de orden de DISPARO. Por ejemplo, un tiempo de retardo para cada detonador puede transmitirse a cada detonador por la al menos una máquina de voladura a través de o una comunicación cableada o inalámbrica.

Como alternativa, una máquina de voladura asociada puede calcular, para cada detonador, de acuerdo con una frecuencia de cada oscilador asociado con cada detonador, un número de cuentas de oscilador necesarias para ejecutar un tiempo de retardo deseado para cada detonador, y puede transmitir cada número de cuentas de oscilador necesarias a cada detonador. En aún otras realizaciones de la invención, un aparato de voladura puede incluir además un dispositivo de registro portátil adecuado para la comunicación a través de una comunicación cableada de corto alcance o inalámbrica con cada detonador colocado en el sitio de la voladura, para programar cada detonador con su tiempo de retardo correspondiente. Tales dispositivos de registro se conocen bien en la técnica. En las realizaciones preferidas, el dispositivo de registro portátil puede calcular, para cada detonador, de acuerdo con una frecuencia de cada oscilador asociado con cada detonador, un número de cuentas de oscilador necesarias para ejecutar un tiempo de retardo deseado para cada detonador, y transmitir cada número de cuentas de oscilador a cada detonador.

Los detonadores reciben señales de órdenes procedentes de al menos una máquina de voladura, en las que tales señales incluyen al menos una señal para disparar los detonadores. Preferentemente, las señales de órdenes y, en particular la señal de orden de DISPARO, se transmiten a los detonadores de manera simultánea. Por ejemplo, la señal de orden de DISPARO puede ser una sola señal transmitida ampliamente en una ocasión por una máquina de voladura, para su recepción por todos los detonadores en el sitio de la voladura. Los detonadores pueden a continuación recibir la señal de manera simultánea, o casi simultáneamente, en función de su proximidad a la máquina de voladura y/o su ruta de comunicación con la máquina de voladura. De esta manera, la recepción simultánea o casi simultánea de la señal de DISPARO por todos los detonadores permite el comienzo por cada detonador de la cuenta atrás de su respectivo número programado de cuentas de oscilador, lo que resulta en la ejecución del evento de voladura de acuerdo con los tiempos de retardo de detonador preprogramados.

Ejemplo 2 - Detonador con temporización de alta precisión del accionamiento de tiempo de retardo

En otras realizaciones, la invención también abarca detonadores o conjuntos de detonadores para su uso como un componente de los aparatos de voladura descritos anteriormente. Tales detonadores o conjuntos de detonadores pueden programarse para una precisión de aproximadamente 0,1 ms o mejor, y pueden comprender:

- i) una carga base;
- ii) un circuito de disparo que puede conectarse selectivamente a la carga base;
- iii) un medio de almacenamiento de energía para almacenar energía para la iniciación de la carga base a través del circuito de disparo;
- iv) un oscilador que tiene una frecuencia fija y estable o calibrable de al menos aproximadamente 10 kHz;
- v) un medio de memoria para almacenar un tiempo de retardo correspondiente a un número de cuentas del oscilador;
- vi) un receptor para recibir la al menos una señal de orden procedente de una máquina de voladura asociada.

Como se ha tratado, tras la recepción por el receptor de la señal de disparo de una máquina de voladura asociada, el oscilador comienza una cuenta atrás del número de cuentas, y sobre la terminación de la cuenta atrás el medio de almacenamiento de energía descarga la energía almacenada en el mismo en el circuito de disparo para iniciar la carga base. De esta manera, el detonador puede programarse con un tiempo de retardo que tiene una resolución temporal correspondiente a la frecuencia del oscilador - es decir, los tiempos de retardo pueden programarse con una resolución temporal de 0,1 ms o menos.

Ejemplo 3 - Método de voladura con temporización de alta precisión del accionamiento del detonador

La invención abarca además diversos métodos de voladura, ya sea para la minería y la fragmentación de rocas, o para la prospección sísmica, que en general involucran a los aparatos de voladura de la invención. Por ejemplo, un método preferido implica las etapas de:

- (1) proporcionar un aparato de voladura de la invención;
- (2) colocar los al menos dos detonadores en el sitio de la voladura cada uno en asociación con la carga explosiva;
- (3) programar los al menos dos detonadores con tiempos de retardo para una precisión de aproximadamente 0,1 ms o mejor, estando dichos tiempos de retardo almacenados en cada medio de memoria como un número de cuentas para cada oscilador correspondiente;

(4) transmitir una señal de orden de DISPARO procedente de cada una de las al menos una máquina de voladura a los al menos dos detonadores, haciendo de este modo que cada oscilador cuente hacia atrás su número respectivo de cuentas tras la terminación de lo cual se inicia una carga base asociada;

5 en el que las etapas (2) y (3) pueden realizarse en cualquier orden o simultáneamente.

La programación de los detonadores con tiempos de retardo puede conseguirse por cualquier medio adecuado, ya sea durante la fabricación en la fábrica de los detonadores, o antes o después de la colocación en el sitio de la voladura. Además, el método de transmisión de la señal de orden de la máquina(s) de voladura a los al menos dos detonadores puede lograrse a través de cualquier medio adecuado incluyendo la transmisión cableada o la transmisión inalámbrica. Aunque la etapa 3 especifica una precisión de aproximadamente 0,1 ms o mejor, la precisión de la programación de tiempo de retardo y la ejecución pueden ser incluso mejores que 0,1 ms, por ejemplo, 0,05 ms o mejor, o 0,01ms o mejor, en función de los relojes disponibles.

15 Ejemplo 4 - Aparato para la prospección sísmica

Específicamente para las realizaciones de prospección sísmica, la invención proporciona otras realizaciones preferidas más de un aparato de evaluación sísmica para la evaluación sísmica de la geología o la estructura subterránea, incluyendo el aparato:

(a) al menos una máquina de voladura para comunicar al menos una señal de orden a al menos un detonador asociado, incluyendo al menos una señal de DISPARO;
 (b) al menos dos detonadores programables para una precisión de aproximadamente 0,1 ms o mejor, comprendiendo cada uno:

- i) una carga base;
- ii) un circuito de disparo que puede conectarse selectivamente a la carga base;
- iii) un medio de almacenamiento de energía para almacenar energía para la iniciación de la carga base a través del circuito de disparo;
- iv) un oscilador que tiene una frecuencia fija y estable o calibrable de al menos aproximadamente 10 kHz;
- v) un medio de memoria para almacenar un tiempo de retardo correspondiente a un número de cuentas del oscilador;
- vi) un receptor para recibir la al menos una señal de orden procedente de la máquina de voladura;

por lo que tras la recepción por el receptor de dicha señal de DISPARO, cada oscilador comienza una cuenta atrás del número de cuentas, y tras la finalización de la cuenta atrás el medio de almacenamiento de energía descarga la energía almacenada en el mismo en el circuito de disparo para iniciar dicha carga base, de tal manera que la iniciación del al menos un detonador provoca unas ondas de choque a través de o inherentes a la geología o la estructura subterránea, así como las ondas de choque reflejadas o refractadas por la geología o la estructura subterránea, interfiriendo las ondas de choque opcionalmente entre sí de acuerdo con un tiempo relativo de iniciación de la detonadores; y

(c) al menos un receptor para recibir las ondas de choque transmitidas a través de o inherentes a la geología o la estructura subterránea, o las ondas de choque reflejadas o refractadas por la geología o la estructura subterránea, permitiendo de este modo la recopilación de datos indicativos de la geología o la estructura subterránea. Cada detonador puede programarse para iniciarse en un momento diferente a algunos o todos los demás detonadores en el aparato de voladura de arena, conociéndose los tiempos con un grado significativo de precisión, de tal manera que se conoce una posición de las ondas de choque que emanan de las cargas explosivas sustancialmente con fines de recogida y análisis de datos.

En las realizaciones preferidas, los al menos dos detonadores pueden delimitarse en al menos un primer conjunto de al menos un detonador, y un segundo conjunto de al menos un detonador, de tal manera que los detonadores dentro de cualquier conjunto específico se inician en diferentes momentos temporalmente separados cercanos entre sí. De esta manera, las ondas de choque resultantes de la iniciación de los detonadores dentro de un conjunto pueden interferir unas con otras antes de la disipación. En contraste, los detonadores en diferentes conjuntos pueden iniciarse en momentos lo suficientemente separados temporalmente de tal manera que las ondas de choque resultantes de los detonadores en los diferentes conjuntos se disipan sustancialmente sin interferencias. Por ejemplo, el primer conjunto puede comprender dos detonadores que se inician en diferentes momentos separados X ms que están suficientemente cerca para que las ondas de choque resultantes interfieran entre sí. El segundo conjunto comprende dos detonadores que se inician en diferentes momentos separados Y ms que están suficientemente cerca de tal manera que las ondas de choque resultantes interfieren entre sí. Sin embargo, ya que X e Y son diferentes, puede obtenerse un conjunto más complejo de datos indicativo de un grado alternativo o patrón de interferencia de ondas de choque. Por lo tanto, la 'imagen' global desarrollada por un análisis informático de los datos recibidos puede aclararse mejor.

Ejemplo 5 - Método para la prospección sísmica

La invención también abarca unos métodos correspondientes para el análisis sísmico de la geología o la estructura subterránea. En las realizaciones preferidas, tales métodos pueden comprender las etapas de:

- (1) proporcionar un aparato de evaluación sísmica de la invención;
- (2) colocar los al menos dos detonadores en el sitio de la voladura;
- (3) programar los al menos dos detonadores con tiempos de retardo para una precisión de aproximadamente 0,1 ms o mejor, estando dichos tiempos de retardo almacenados en cada medio de memoria como un número de cuentas para cada oscilador correspondiente;
- (4) transmitir una señal de orden de DISPARO procedente de cada una de las al menos una máquina de voladura a los al menos dos detonadores, haciendo de este modo que cada oscilador cuente hacia atrás su número respectivo de cuentas tras la terminación de lo cual se inicia una carga base asociada;
- (5) recoger datos a través de al menos un receptor de ondas de choque, que corresponden a dichas ondas de choque transmitidas a través de o inherentes a la geología o la estructura subterránea, y/o unas ondas de choque reflejadas o refractadas por la geología o la estructura subterránea indicativas de la geología o la estructura subterránea;

en el que las etapas (2) y (3) pueden realizarse en cualquier orden o simultáneamente.

Las etapas 2 a 5 también pueden repetirse, no necesariamente de manera secuencial, pero con diferentes tiempos de retardo entre los detonadores uno en relación con otro, para lograr conjuntos de datos alternativos para la interacción de ondas de choque con la estructura y la geología subterránea.

También debería observarse que los aparatos y los métodos de la presente invención pueden usarse independiente de, o junto con, otros métodos de voladura que se conocen en la técnica, incluyendo pero no limitados a la publicación de patente internacional WO 2005/124 272 publicada el 29 de diciembre de 2005, y la solicitud de patente canadiense 2.306.536 publicada el 23 de octubre del 2000.

El aparato de voladura y los métodos de la presente invención tienen numerosas aplicaciones útiles. Estos presentan ventajas para la mejora de las técnicas de voladura, o la mejora de los resultados de voladura, en muchos escenarios diferentes. Los siguientes ejemplos ilustran simplemente unos pocos de tales escenarios, y explican cómo en diferentes entornos de voladura el aparato y los métodos de la presente invención pueden emplearse en el campo.

Ejemplo 6 - Voladura subterránea de "pared lisa"

En determinadas circunstancias, puede desearse volar un conducto con el fin de obtener una caverna o cámara subterránea tal como, por ejemplo, un depósito subterráneo para almacenar, preservar o proteger en el mismo cualquier tipo de material, incluyendo, por ejemplo, materiales biológicos o de desecho. La voladura subterránea de una roca para crear este tipo de cavernas subterráneas requiere el uso de técnicas de voladura específicas tales como las descritas, por ejemplo, en el capítulo 7 de "A Applied Explosives Technology for Construction and Mining" por Stig O. Olofsson (pub. APPLEX, Suecia, 1988), y el capítulo 9 de "Rock Blasting and Explosives Engineering" por Per-Anders Persson et al. (pub. CRC Press, US, 1994).

Normalmente, se desea insertar las perforaciones más cerca entre sí en la zona de perímetro de la roca a volar (algunas veces denominada como "agujeros de contorno"), de tal manera que la fragmentación de la roca resulta en una superficie interna relativamente lisa para la caverna formada de este modo. Con la tecnología existente, es muy difícil lograr o regular la interferencia de ondas de choque, especialmente cuando las cargas explosivas en perforaciones adyacentes o cercanas están colocadas tan cerca entre sí. Incluso las precisiones de tiempo de retardo de detonador en el intervalo de milisegundos proporcionan una precisión insuficiente. Sin embargo, la presente invención proporciona mejoras significativas en este sentido. Con la temporización de submilisegundos de los tiempos de retardo para el accionamiento del detonador es posible programar los detonadores electrónicos adyacentes localizados en las perforaciones adyacentes para iniciarse solo una fracción de un milisegundo después. Esto permite una interferencia de ondas de choque eficaz entre las perforaciones muy poco separadas, con una mejor fragmentación de las rocas. Además, las vibraciones terrestres pueden controlarse y reducirse más cuidadosamente. Como resultado, la presente invención permite la producción de cavernas subterráneas que tienen superficies internas y estructuras subsuperficiales con una integridad y forma mejoradas.

Ejemplo 7 - Voladura para tubificación

Las técnicas de voladura para la tubificación a veces requieren una consideración especial. A menudo, la tubificación a través de la roca se realiza por debajo de las zonas urbanas, por ejemplo, con el fin de crear un túnel para el transporte urbano (por ejemplo, para vehículos, trenes de metro etc.). Cuando se realiza una voladura por debajo de las zonas urbanas, debe tenerse especial cuidado para evitar vibraciones terrestres que podrían dañar la

infraestructura existente, incluyendo los conductos de comunicaciones, así como las tuberías de agua y gas. La presente invención, al menos en las realizaciones seleccionadas, presenta ventajas significativas en este sentido.

La figura 1, ilustra esquemáticamente una vista en alzado frontal de una sección de roca a volar con el fin de extender un túnel en una dirección perpendicular a la página. Cada pequeño círculo negro 10 representa una perforación de perímetro en la roca que se coloca alrededor del perímetro de la roca a volar. Obsérvese que estas perforaciones 10 están localizadas bastante cerca entre sí, tal vez unos 10-30 cm de separación. Como se ha tratado haciendo referencia al Ejemplo 6, la razón de esto se conoce en la técnica - para formar una superficie interna del túnel que está relativamente bien definida. Los aparatos, detonadores y métodos de la presente invención, que implican una temporización de submilisegundo de los detonadores electrónicos, permiten mejoras significativas en la fragmentación de la roca localizada entre las perforaciones de perímetro 10, por lo que se logra un túnel con una superficie interna lisa, mejorada y más segura. Por otra parte, mediante una regulación cuidadosa del accionamiento del detonador a través de unos tiempos de retardo de submilisegundos, pueden reducirse sustancialmente las vibraciones terrestres no deseadas, ayudando de este modo a reducir la posibilidad de daño a las infraestructuras urbanas circundantes.

En las realizaciones preferidas de los aparatos y los métodos de la presente invención, los conjuntos de detonadores inalámbricos o potenciadores electrónicos inalámbricos, que contienen los componentes necesarios para la temporización de retardo de submilisegundos, se usan para la tubificación subterránea. Tales conjuntos de detonadores inalámbricos o potenciadores electrónicos inalámbricos son especialmente adecuados para técnicas de minería automatizada, por ejemplo, que implican la colocación robótica de explosivos subterráneos. Se describen unos conjuntos de detonadores inalámbricos y potenciadores electrónicos inalámbricos, por ejemplo, en el documento WO 2006/047823 publicado el 11 de mayo de 2006, el documento WO 2006/076777 publicado el 27 de julio de 2006, el documento WO 2006/096920 publicado el 21 de septiembre de 2006, y el documento WO 2007/124539 publicado el 8 de noviembre de 2007.

También se muestran en la figura 1 unas perforaciones adicionales 11 mostradas como círculos blancos que definen y se localizan en una región de "corte" 12. Normalmente, pero no necesariamente, los detonadores y las cargas explosivas en esta región de corte se accionan primero para proporcionar una parte ahuecada en la roca en la zona de la voladura. La parte ahuecada proporciona posteriormente un espacio para recibir al menos en parte una roca fragmentada generada por el accionamiento posterior de los explosivos en las perforaciones de perímetro 10, así como el accionamiento de explosivos en las perforaciones intermedias 13 mostradas como círculos grises.

Ejemplo 8 - Voladura de perímetro general

Una voladura de perímetro general incluye una voladura sobre el suelo o de superficie de las caras de roca expuestas. Normalmente, las perforaciones y las cargas explosivas retenidas en las mismas están dispuestas en filas 21, 22, 23, 24, como se muestra por ejemplo en la figura 2, que muestra una vista en planta superior del sitio de la voladura. Los detonadores y las cargas explosivas correspondientes a la fila 21 se accionan primero, lo que resulta en una fragmentación de la roca adyacente y un movimiento general de la roca fragmentada en una dirección general 25. Posteriormente, pueden accionarse los detonadores y las cargas explosivas correspondientes a la fila 22, resultando de nuevo en una fragmentación de la roca adyacente y en un movimiento de la roca fragmentada en la dirección general 25. El mismo proceso puede realizarse para la fila 23.

La fila 24 puede necesitar una consideración especial, ya que será la última fila de detonadores y de cargas explosivas correspondientes a accionarse, y la fragmentación de las inmediaciones de la roca, y el movimiento de esta roca fragmentada, resultará en una pared final de la roca que puede permanecer después de que se haya completado la voladura en el sitio de la voladura. Es especialmente importante que esta última pared de la roca tenga un grado de integridad por razones de seguridad, y a veces puede preferirse que tenga un aspecto estético más liso y más agradable. El aparato de voladura y los métodos de voladura de la presente invención pueden, por ejemplo, aplicarse a la voladura de la fila 25 de los detonadores y las cargas explosivas correspondientes. La temporización de submilisegundos del accionamiento del detonador puede dar como resultado la mejora de la interferencia de ondas de choque entre perforaciones cercanas o adyacentes, incluso si las perforaciones se colocan cerca entre sí, resultando de este modo en una mejora de la fragmentación de las rocas y en una reducción de las vibraciones terrestres. Como resultado, la cara de roca acabada tiene una integridad mejorada, con un menor número de fisuras, grietas o debilidades estructurales relativas a una cara de roca producida por unas técnicas de voladura más convencionales.

En otras realizaciones, el aparato de voladura y los métodos de la presente invención pueden usarse para volar una roca con el fin de generar una pared de roca acabada adyacente a una carretera u otra ruta de transporte. Una vez más, la integridad mejorada de la cara de roca significa que la posibilidad de que la roca se caiga de la cara de roca y ponga en peligro la seguridad de la carretera se reduce sustancialmente.

Ejemplo 9 - Voladura de "precorte" de la roca

La voladura de precorte se conoce en la técnica (véase, por ejemplo, "Applied Explosives Technology for Construction and Mining" por Stig O. Olofsson (pub. APPLEX, Suecia 1988), y "Rock Blasting and Explosives Engineering" por Per-Anders Persson et al. (pub. CRC Press, US, 1994). Brevemente, la técnica incluye la realización eficazmente de una serie de pequeñas explosiones preliminares para perforar o debilitar una región de roca justo antes de un evento de voladura principal y más grande. Por ejemplo, puede debilitarse una región de roca mediante una serie de voladuras de precorte a lo largo de una línea que se extiende a lo largo de un límite o perímetro de una región de roca a fragmentar. Esta técnica puede ser específicamente útil para fragmentar una región de roca al tiempo que se evita sustancialmente el daño a una región de roca adyacente. La voladura de precorte se trata, por ejemplo, en "Applied Explosives Technology for Construction and Mining" por Stig O. Olofsson (pub. APPLEX, Suecia 1988). También se usa la voladura de precorte, por ejemplo, en la formación de las caras de roca adyacentes a una ruta de transporte tal como una carretera.

Tradicionalmente, los detonadores en un único evento de voladura de precorte (por ejemplo, para formar una debilidad o perforación en la roca) pueden conectarse a través de un cordón detonante, sin una consideración significativa a la temporización relativa del accionamiento del detonador. Los aparatos de voladura, los detonadores y los métodos correspondientes de la presente invención presentan oportunidades para unas mejoras en la voladura de precorte a través de una cuidadosa programación de los detonadores con tiempos de retardo que tienen un grado de precisión de submilisegundos. Tales detonadores pueden organizarse y programarse espacialmente con tiempos de retardo que están separados temporalmente por una fracción de un milisegundo, logrando de este modo la mejora de la interferencia de las ondas de choque que emanan de las perforaciones, lo que resulta en una mejor fragmentación de la roca dentro de una región específica y limitada de la roca para la voladura de precorte.

Ejemplo 10 - Aplicaciones sísmicas

Como se ha tratado anteriormente, las realizaciones específicas de la presente invención son adecuadas para su uso en un análisis sísmico. Tradicionalmente, este tipo de análisis implica el accionamiento de las cargas explosivas localizadas separadas a varios, quizás cientos de metros conectadas a través de largas conexiones físicas tales como cables o un cordón detonante. Las realizaciones preferidas de la presente invención emplean aparatos de voladura, detonadores, y métodos correspondientes que implican la comunicación inalámbrica entre los detonadores/cargas explosivas para la prospección sísmica, y una máquina de voladura asociada. En un aspecto, esto evita la desaparición y el desperdicio de cables físicos o cordones detonantes tradicionalmente usados durante un evento de voladura sísmica. Por otra parte, las técnicas de análisis sísmicos implican normalmente el uso de cargas explosivas. De hecho, las cargas explosivas para la prospección sísmica pueden tener una capacidad tan baja que los daños en cualquier decodificador o dispositivo similar localizado por encima de o cerca de una superficie del suelo puede evitarse al menos sustancialmente, lo que destaca aún más la utilidad de los dispositivos inalámbricos para una voladura sísmica.

Ejemplo 11 - Prospección de petróleo y gas

La prospección sísmica de yacimientos de petróleo y gas es otro campo de la técnica que se beneficia de la presente invención. Como se ha tratado, tal prospección puede implicar el accionamiento de cargas explosivas, seguido de una "escucha" de las vibraciones y las señales resultantes del accionamiento del detonador, pero reflejada o refractada por capas, estructuras y depósitos subterráneos.

Tradicionalmente, tal prospección sísmica ha implicado el uso de detonadores eléctricos regulares conectados a través de un canal de cables. Tales detonadores eléctricos no incluyen su propio condensador, sino que se basan en sus líneas de señal conectadas para una corriente de disparo. Normalmente, se envía una señal para disparar tales detonadores simultáneamente. Sin embargo, en realidad, solo se logra una activación de detonador cercana a simultánea. Los detonadores pueden estar localizados a una distancia significativa, y la variación de las resistencias en los cables de conexión y las cabezas de encendido del detonador puede resultar en cierta variabilidad en la temporización del accionamiento de los detonadores uno en relación con otro.

Los aparatos de voladura y los métodos correspondientes de la presente invención proporcionan nuevas oportunidades para la prospección sísmica, por ejemplo, para los yacimientos de petróleo y gas. De acuerdo con la presente invención, los detonadores pueden programarse con un alto grado de precisión, tal como para garantizar sustancialmente que los detonadores se accionan casi de manera simultánea, y el margen de error (por ejemplo, por una variación no intencionada en la temporización del accionamiento del detonador) se reduce significativamente. Es importante destacar que, puede obtenerse y correlacionarse un conjunto más complejo de datos sísmicos, por ejemplo, mediante la repetición de un análisis sísmico con variaciones leves pero intencionales en la temporización del accionamiento del detonador, o de hecho del orden del accionamiento del detonador, con un grado de precisión sin precedentes con respecto a los tiempos de retardo del detonador.

Ejemplo 12 – Eficacia mejorada de la fragmentación de la roca

5 Las técnicas de voladura implican a menudo el uso de filas de perforaciones en la roca, en las que se colocan los detonadores junto con sus cargas explosivas asociadas. Se sabe en la técnica que la eficacia y el grado de fragmentación de la roca pueden variar de acuerdo con el retardo entre orificios adyacentes en una fila. Por ejemplo, si el tiempo de retardo entre detonadores en orificios adyacentes es de 30 ms, y la distancia entre los orificios es de 10 m, entonces el retardo específico entre los agujeros en una fila se calcula como 3 ms/m.

10 La figura 3 ilustra esquemáticamente una relación típica entre el tamaño de roca fragmentada (eje y) y el retardo específico (eje x). La naturaleza de la relación puede depender de las condiciones del sitio de la voladura, y de la roca a volar. Sin embargo, a partir de la figura 3 puede observarse que puede existir un retardo específico óptimo en el que se logra la fragmentación máxima de la roca (es decir, el tamaño mínimo de la roca). Los aparatos de voladura y los métodos de la presente invención permiten una mejor optimización de la fragmentación de la roca, ya que permiten tiempos de retardo de detonador a programarse con un grado de precisión de submilisegundos. En el ejemplo anterior, se supone que el retardo específico entre las filas de agujeros es 3 ms/m, pero el retardo óptimo preferido para la fragmentación máxima de la roca se calcula como 3,16 ms/m. De acuerdo con la presente invención, el retardo específico entre las filas puede ajustarse a un nivel óptimo alterando los tiempos de retardo programados en los detonadores de las filas adyacentes, desde 30 ms a 31,6 ms. Este nivel de optimización en el sitio de la voladura puede alcanzarse ahora en virtud de las ventajas de la presente invención, y en particular a la capacidad de los detonadores a programarse con tiempos de retardo que tienen un grado de precisión de submilisegundos.

15

20

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de voladura para ejecutar un plan de voladura para al menos dos detonadores, cada uno programable con un tiempo de retardo, comprendiendo el aparato de voladura al menos un máquina de voladura para transmitir, opcionalmente de manera inalámbrica, al menos una señal de orden a al menos dos detonadores asociados, incluyendo al menos una señal de DISPARO, estando el aparato de voladura caracterizado por que comprende, además, al menos dos detonadores, cada uno programable con un tiempo de retardo seleccionable con una precisión de aproximadamente 0,1 ms o mejor y comprendiendo cada uno:
- i) una carga base;
 - ii) un circuito de disparo que puede conectarse selectivamente a la carga base;
 - iii) un medio de almacenamiento de energía para almacenar energía para la iniciación de la carga base a través del circuito de disparo;
 - iv) un oscilador que tiene una frecuencia fija y estable o calibrable de al menos aproximadamente 10 kHz;
 - v) un medio de memoria para almacenar un tiempo de retardo correspondiente a un número de cuentas de dicho oscilador;
 - vi) un receptor para recibir dicha al menos una señal de orden procedente de dicha máquina de voladura;
- por lo que tras la recepción por dicho receptor de dicha señal de DISPARO, dicho oscilador comienza una cuenta atrás de dicho número de cuentas, y tras la finalización de dicha cuenta atrás dicho medio de almacenamiento de energía descarga dicha energía almacenada en el mismo en dicho circuito de disparo para iniciar dicha carga base.
2. El aparato de voladura de la reivindicación 1, en el que dicho oscilador de cada detonador tiene una frecuencia de al menos 20 kHz, preferentemente de al menos 40 kHz.
3. El aparato de voladura de la reivindicación 1, en el que cada detonador puede programarse individualmente con un tiempo de retardo después de la colocación en el sitio de voladura.
4. El aparato de voladura de la reivindicación 3, en el que cada detonador incluye un medio de conversión para convertir cada tiempo de retardo en dicho número de cuentas.
5. El aparato de voladura de la reivindicación 4, en el que se transmite un tiempo de retardo para cada detonador a través de una conexión cableada o inalámbrica a cada detonador mediante dicha al menos una máquina de voladura; y en el que, opcionalmente, la máquina de voladura calcula, para cada detonador, de acuerdo con una frecuencia de cada oscilador asociado con cada detonador, un número de cuentas de oscilador necesarias para ejecutar un tiempo de retardo deseado para cada detonador, y transmite cada número de cuentas de oscilador a cada detonador.
6. El aparato de voladura de la reivindicación 4, incluyendo además el aparato un dispositivo de registro portátil adecuado para la comunicación a través de una comunicación inalámbrica de corto alcance o cableada con cada detonador colocado en el sitio de la voladura, para programar cada detonador con su tiempo de retardo correspondiente; y en el que, opcionalmente, el dispositivo de registro portátil calcula, para cada detonador, de acuerdo con una frecuencia de cada oscilador asociado con cada detonador, un número de cuentas de oscilador necesarias para ejecutar un tiempo de retardo deseado para cada detonador, y transmite cada número de cuentas de oscilador a cada detonador.
7. El aparato de voladura de la reivindicación 1, en el que al menos dicha señal de orden de DISPARO se transmite a dichos al menos dos detonadores de manera simultánea, y se recibe por dichos al menos dos detonadores al menos prácticamente de manera simultánea, de tal manera que cada cuenta atrás de cada número de cuentas comienza al menos prácticamente al mismo tiempo.
8. Un aparato de evaluación sísmica para la evaluación sísmica de la geología o la estructura subterránea, estando el aparato caracterizado por que comprende el aparato de voladura de la reivindicación 1, de tal manera que la iniciación de cada uno de los al menos dos detonadores provoca unas ondas de choque a través de o inherentes a dicha geología o estructura subterránea, así como unas ondas de choque reflejadas o refractadas por dicha geología o estructura subterránea, interfiriendo dichas ondas de choque opcionalmente entre sí, e incluyendo además el aparato al menos un receptor de ondas de choque para recibir dichas ondas de choque transmitidas a través de o inherentes a dicha geología o estructura subterránea, o unas ondas de choque reflejadas o refractadas por dicha geología o estructura subterránea, por lo que permite la recopilación de datos indicativos de dicha geología o estructura subterránea.
9. El aparato de la reivindicación 8, en el que dichos al menos dos detonadores comprenden al menos un primer conjunto de al menos un detonador, y un segundo conjunto de al menos un detonador, de tal manera que dichos detonadores dentro de cualquier conjunto se inician en diferentes momentos temporalmente separados cercanos entre sí de tal manera que las ondas de choque resultantes de la iniciación de los detonadores dentro de un conjunto interfieren con el otro conjunto antes de la disipación, y los detonadores en los diferentes conjuntos se inician en

momentos lo suficientemente separados temporalmente de tal manera que las ondas de choque resultantes de los detonadores en los diferentes conjuntos se disipan sustancialmente sin interferencias.

5 10. El aparato de la reivindicación 9, en el que el primer conjunto comprende dos detonadores que se inician en diferentes momentos separados X ms que están suficientemente cerca para que las ondas de choque resultantes interfieran entre sí, y el segundo conjunto comprende dos detonadores que se inician en diferentes momentos separados Y ms que están suficientemente cerca de tal manera que las ondas de choque resultantes interfieren entre sí, en el que X e Y son diferentes.

10 11. Un método de voladura, caracterizado por que el método comprende las etapas de:

- (1) proporcionar un aparato de voladura de la reivindicación 1;
- (2) colocar los al menos dos detonadores en el sitio de la voladura;
- 15 (3) programar los al menos dos detonadores con tiempos de retardo con una precisión de aproximadamente 0,1 ms o mejor, estando dichos tiempos de retardo almacenados en cada medio de memoria como un número de cuentas para cada oscilador correspondiente; y
- (4) transmitir una señal de orden, preferentemente una señal de orden inalámbrica, para DISPARAR desde cada dicha al menos una máquina de voladura a dichos al menos dos detonadores, haciendo de este modo que cada oscilador cuente hacia atrás su número respectivo de cuentas tras la terminación de lo cual se inicia una carga base asociada;
- 20

en el que las etapas (2) y (3) pueden realizarse en cualquier orden o simultáneamente.

25 12. El método de la reivindicación 11 para fragmentar roca perforada con perforaciones, en el que la etapa de colocar los al menos dos detonadores en el sitio de la voladura comprende insertar en cada perforación un material explosivo y un detonador electrónico asociado del tal manera que la iniciación de la carga base en cada detonador provoca una detonación del material explosivo, y los tiempos de retardo de los al menos dos detonadores están programados de tal manera que las ondas de choque resultantes de la detonación de los materiales explosivos interfieren para provocar la fragmentación eficaz de la roca localizada entre o cerca de las perforaciones.

30 13. Un método para el análisis sísmico de la geología o la estructura subterránea, estando el método caracterizado por que comprende el método de la reivindicación 11 realizado de tal manera que la iniciación de cada uno de los al menos dos detonadores provoca unas ondas de choque a través de o inherentes a dicha geología o estructura subterránea, así como unas ondas de choque reflejadas o refractadas por dicha geología o estructura subterránea, interfiriendo dichas ondas de choque opcionalmente entre sí, y comprendiendo el método además la etapa de:

- (5) recoger datos a través de al menos un receptor de ondas de choque, que corresponden a dichas ondas de choque transmitidas a través de o inherentes a dicha geología o estructura subterránea, y/o unas ondas de choque reflejadas o refractadas por dicha geología o estructura subterránea indicativas de dicha geología o estructura subterránea.
- 40

45 14. El método de la reivindicación 13, que comprende además repetir las etapas 2 a 5, no necesariamente de manera secuencial, usando diferentes conjuntos de al menos dos detonadores, estando cada conjunto programado con un único conjunto de tiempos de retardo, para recoger de este modo más de un conjunto de datos correspondientes a dicha geología o estructura subterránea, cada uno indicativo de cada conjunto único de tiempos de retardo.

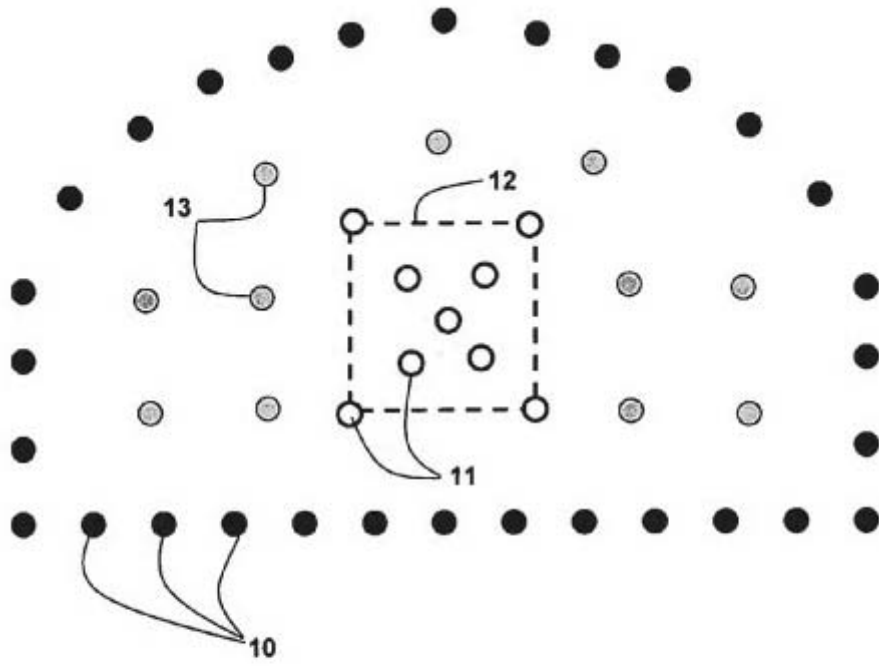


FIGURA 1

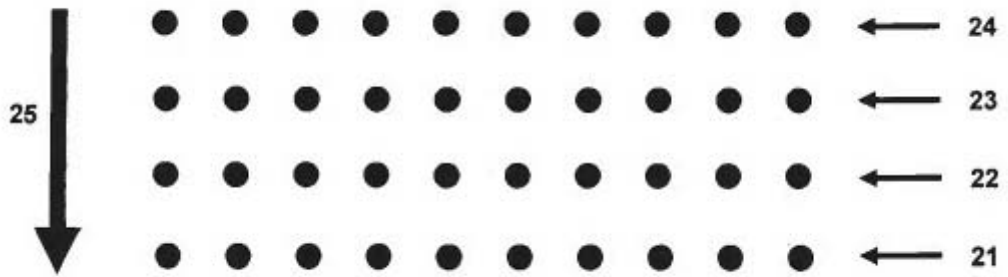


FIGURA 2

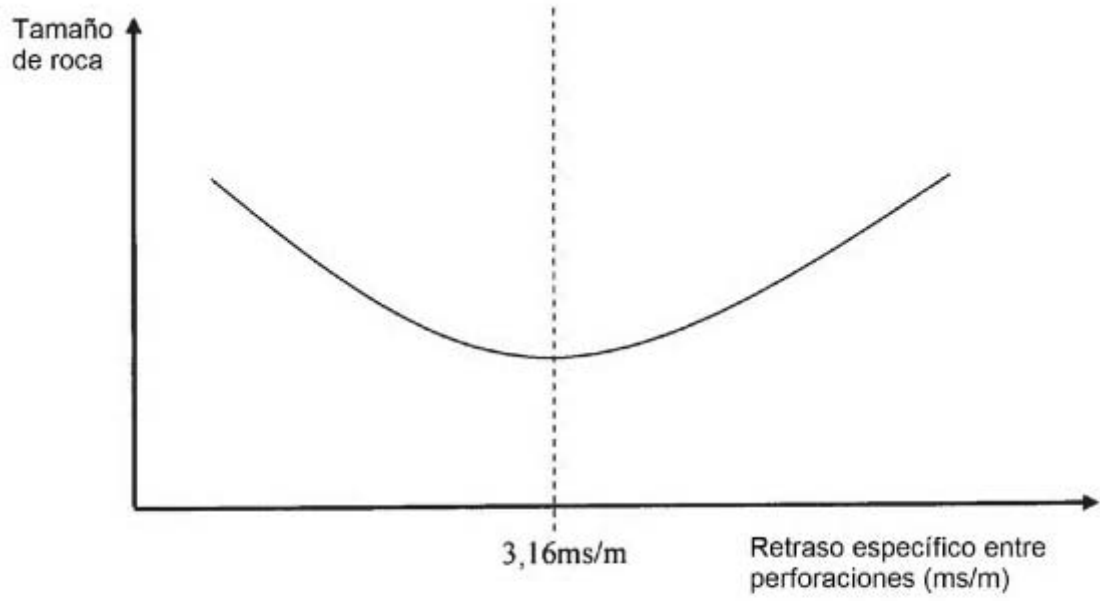


FIGURA 3