

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 584 287**

51 Int. Cl.:

F42D 1/055 (2006.01)

F42D 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.03.2006 E 06704988 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 1856475**

54 Título: **Sistema de voladura electrónico**

30 Prioridad:

09.03.2005 US 659407 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.09.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

LOWNDS, CHARLES MICHAEL

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 584 287 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

Sistema de voladura electrónico

5 Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de voladura electrónico para su uso en operaciones de minería y similares, y a un método de voladura que usa el sistema.

10 Los sistemas de iniciación pirotécnicos para accionar voladuras de agujeros múltiples son bien conocidos. Con este tipo de sistemas cada conexión entre agujeros lleva consigo un retardo de superficie específico. Mediante la selección adecuada de los tiempos de retardo y el orden de conexión de los iniciadores en los agujeros (detonadores), un diseñador de voladuras puede lograr una amplia gama de patrones de disparo. Este enfoque se denomina a veces como "retardo por gancho". La línea de entrada para una voladura entra en la red de barrenos en el primer agujero a dispararse con unas conexiones que se alejan de este agujero retardando cada agujero posterior en relación con el vecino anterior. Si bien son útiles en los sistemas de voladura pirotécnicos, sin embargo, tienen algunas limitaciones fundamentales. Las principales limitaciones son que los sistemas de voladura pirotécnicos proporcionan solo un intervalo limitado de tiempos de retardo disponibles y sufren de una relativamente pobre exactitud y precisión.

20 Por el contrario, actualmente existen unos detonadores electrónicos que pueden programarse libremente con respecto al retardo de detonación y que también son muy precisos con respecto a este retardo. Los detonadores electrónicos son por lo tanto extremadamente útiles en las operaciones de voladura multi-agujero en las que se requieren unos barrenos individuales a detonarse (disparar) en una secuencia de tiempo predeterminada y precisa. La secuencia de tiempo es, por supuesto, conocida de antemano y se programa en los detonadores individuales basándose en la posición del detonador en la secuencia global de voladura.

30 En términos generales, cuando se trata de sistemas de voladura electrónicos hay dos técnicas básicas usadas para programar el detonador. En la primera, los detonadores electrónicos están programados con tiempos de disparo individuales basándose en su localización en el patrón de voladura. Esto requiere alguna acción deliberada de un operador (artificiero), teniendo en cuenta el diseño de voladura propuesto. Esto puede implicar teclear un tiempo de retardo de detonación en una herramienta de programación portátil y retransmitir ese tiempo de retardo al detonador relevante mediante alguna forma de comunicación entre la herramienta de programación y el detonador (véanse, por ejemplo, los documentos US 6.173.651 y US 6.789.483). Como alternativa, cuando el detonador electrónico incluye unos datos de identidad únicos asociados con el mismo, la identidad del detonador puede estar asociada con un barreno dado en el que se carga el detonador, con tiempos de retardo de detonador individuales que se asignan a continuación a partir de una unidad de control central (caja de voladura) usando los datos de identidad para direccionar cada detonador (véase, por ejemplo, el documento US 5.894.103). En este caso los datos de identidad se capturan invariablemente usando un lector portátil visitando cada barreno. Como una alternativa adicional, un detonador electrónico y el barreno en el que se carga pueden estar asociados indirectamente enlazando cada uno con la información en cuanto a su localización. En general, esto implica un operador visitando cada barreno con un dispositivo GPS y registrando las coordenadas de cada agujero y los datos de identidad del detonador asignado a ese barreno. Esta información se descarga posteriormente y se efectúa la programación usando una unidad de control central. Estos métodos tienden a ser laboriosos y/o requieren el uso de operadores cualificados y un equipo especializado.

50 La segunda técnica para programar los detonadores electrónicos se basa en las conexiones eléctricas para permitir que se determine la posición relativa de los detonadores. Por ejemplo, existen unos sistemas en los que está programado un primer detonador en una línea de arnés con lo que el detonador a continuación comunica con el siguiente detonador con el fin de permitir al siguiente detonador programarse, y así sucesivamente. Esta así llamada disposición de programación de "cadena en margarita" no requiere que cada detonador en una disposición de voladura se visite por un operador, sino que requiere invariablemente una serie de conexiones eléctricas a hacerse para que el sistema funcione. De esta manera, el documento US 2005/0016407 describe un sistema de voladura en el que los detonadores están conectados a una línea de programación y control mediante cuatro cables unidos al (circuitaría de) detonador. El documento US 4.846.066 describe un aparato de voladura que comprende una serie de detonadores programables electrónicos y un explosor, conectados en serie. El explosor comunica a los detonadores al menos unas señales de programación y de disparo. Los detonadores están conectados de tal manera que las señales de programación serán recibidas por un detonador dado solo cuando se haya programado el detonador adyacente más cercano a la salida de señal del explosor. Esto se logra preferentemente mediante el uso de un conector asociado con cada detonador, comprendiendo el conector un dispositivo de conmutación que se hace funcionar por un elemento lógico de tal manera que el elemento lógico funcionará en el dispositivo de conmutación y permitirá que las señales pasen solo cuando se haya programado el detonador asociado con ese conector.

65 Por otra parte, el documento WO 2005/005912 describe un sistema de voladura que comprende una línea de bus de comunicación de 2 cables y una línea en margarita de 2 cables separada que se extiende desde una unidad de control. Unos detonadores individuales se conectan a la línea de bus de comunicación mediante un par de cables

conductores y a la línea en margarita por otro par de conductores. El uso de este tipo de sistemas que requieren múltiples conexiones a realizarse para cada detonador puede consumir mucho tiempo y ser difícil de poner en práctica, sobre todo en entornos mineros agresivos. Además, aumentando el número de conductores de conexión de un detonador aumenta la vulnerabilidad a los daños. Un número de conductores de conexión del detonador podría adaptarse en los cables de múltiples núcleos de alta calidad, pero esto es probable que aumente considerablemente los costes de funcionamiento.

El documento AU 2002 100859 desvela un "dispositivo de conexión amortiguada de detonador electrónico", que consiste en una carcasa, unos componentes internos y unos puntos de conexión que le permiten conectarse entre un orden de superficie y una red de control 12 y una pluralidad de detonadores electrónicos. Las señales procedentes de la unidad de órdenes y de control se reciben por el dispositivo de conexión amortiguada de detonador electrónico y se regeneran en los puntos de conexión de las líneas descendentes de detonador electrónico. El dispositivo está construido en la forma de un búfer eléctrico de tal manera que los fallos eléctricos, tales como los que producen fugas de corriente, que incluyen los cortocircuitos sin corriente, se evitan que interfieran en cualquiera de las líneas descendentes de detonador conectadas con la señalización y las comunicaciones en la orden de superficie y en la red de control.

Con estos antecedentes, sería deseable proporcionar un sistema de voladura electrónico que no sufra las desventajas descritas.

Sumario de la invención

Por consiguiente, la presente invención proporciona un sistema de voladura electrónico de acuerdo con la reivindicación 1.

En el presente documento el término "accionador" se usa para denotar un componente electrónico que es sensible a unas señales de orden apropiadas transmitidas por la unidad de control (a lo largo del arnés de superficie) con el fin de permitir a la unidad de control comunicarse con un detonador proporcionado en el arnés de superficie aguas abajo del accionador. De acuerdo con la presente invención la unidad de control, los accionadores y los detonadores cooperan para permitir la disposición de los detonadores que componen el sistema de voladura a determinarse por la unidad de control. En la práctica esta determinación se efectúa por la unidad de control accediendo selectiva y secuencialmente al sistema. Esto se logra mediante la transmisión por la unidad de control de varias señales de orden que dan como resultado en alguna actividad predeterminada por los accionadores y los detonadores individuales.

El arnés de superficie comprenderá un conductor de múltiples cables para la comunicación con los accionadores y los detonadores que componen el sistema de voladura electrónico de la invención. En una realización de la invención, las comunicaciones entre la unidad de control y los accionadores tiene lugar a través de unos cables que son independientes de los cables que se usan para las comunicaciones entre la unidad de control y los detonadores. Por ejemplo, el arnés de superficie puede ser un conductor de 4 cables en el que se emplean 2 cables para la comunicación entre la unidad de control y los accionadores y se usan 2 cables (diferentes) para la comunicación entre la unidad de control y los detonadores. Preferentemente, sin embargo, la línea de arnés de superficie es un conductor de 2 cables a los que están conectados los diversos accionadores y detonadores que componen el sistema de voladura. Esto simplifica considerablemente la implementación de la presente invención. A menos que se indique lo contrario, con fines de ilustración se supone que se está usando un conductor de 2 cables.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la presente invención se ilustran con referencia a los dibujos adjuntos no limitativos, en los que:

la figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra un sistema de voladura de acuerdo con la presente invención;

la figura 2a es un diagrama esquemático que ilustra otro sistema de voladura de acuerdo con la presente invención;

la figura 2b representa un accionador usado en el sistema de voladura ilustrado en la figura 2a;

figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra un aspecto de un sistema de voladura de acuerdo con la presente invención;

las figuras 4-6 ilustran unos componentes para su uso en las realizaciones de la presente invención; y

la figura 7 es un diagrama esquemático de un circuito de conmutación para su uso en los accionadores de la presente invención.

Descripción detallada

El carácter esencial de la invención puede ilustrarse por referencia a una realización en la que se conectan varias filas de detonadores (mediante unos conductores de 2 cables) a un arnés de superficie. En este caso, es conveniente considerar el arnés de superficie como que comprende una línea principal con unas líneas troncales conectadas a la misma. Cada línea troncal tiene conectada a la misma unos detonadores individuales que componen la misma fila. En una realización preferida de la invención, el arnés de superficie, y por lo tanto la línea principal y las líneas troncales, son unos conductores de 2 cables. Como se explicará, para el funcionamiento de la presente invención, es necesario que cada línea troncal se conecte a la línea principal mediante un accionador (denominado en lo sucesivo en el presente documento para esta realización como un “accionador de fila”), y para cada línea troncal incluir un accionador entre los detonadores adyacentes (denominado en lo sucesivo en el presente documento para esta realización como una “puerta”).

En una realización de la invención múltiples líneas troncales están conectadas a la línea principal mediante un solo accionador, permitiendo este accionador que cada línea troncal se acceda secuencialmente por la unidad de control.

Los accionadores de fila a través de los que cada línea troncal está conectada a la línea principal permiten líneas troncales individuales, y por lo tanto filas individuales de detonadores, para que puedan accederse por las señales que emanan de la unidad de control. Por lo tanto, el accionador de fila puede considerarse como un nodo. Inicialmente, cada accionador de fila está en un estado cerrado o en reposo con el efecto de que la unidad de control no es capaz de transmitir señales de orden a lo largo de una línea troncal a los componentes de la misma. El estado de funcionamiento de cada accionador de fila sin embargo puede cambiarse por una señal de orden apropiada generada por la unidad de control. En respuesta a esta señal de orden el primer accionador de fila encontrado en la línea principal cambia el estado de funcionamiento permitiendo de ese modo que la línea troncal correspondiente pueda accederse por las señales transmitidas posteriormente por la unidad de control. Otras líneas troncales permanecen aisladas con respecto a las señales de orden de la unidad de control debido al estado inicial de los accionadores de fila correspondientes que están sin cambios.

Para una línea troncal que se vuelve accesible a las señales de orden de la unidad de control, un primer detonador en esa línea está disponible para comunicarse con la unidad de control en respuesta a las señales de orden apropiadas. Por lo tanto, la unidad de control puede interrogar al detonador con el fin de obtener información del mismo. Esta información puede ser de carácter simple, tal como el hecho de que el detonador está presente, o más compleja, como se explicará en más detalle a continuación. Se apreciará a partir de lo anterior que el detonador tiene la capacidad de recibir señales desde la unidad de control y de transmitir a cambio señales que transporten información del detonador.

Como se ha indicado, en la realización descrita, se proporciona una puerta entre detonadores adyacentes en las líneas troncales respectivas. El papel de la puerta es aislar el siguiente detonador proporcionado adicionalmente a lo largo de la línea troncal desde la unidad de control hasta que una señal de orden correspondiente se transmita a la puerta. En ese momento la puerta se somete a un cambio en el estado de funcionamiento permitiendo de este modo que se interroge al siguiente detonador a lo largo de la línea troncal por la unidad de control.

Este enfoque se continúa secuencialmente hasta que se ha interrogado cada detonador en la misma línea troncal por la unidad de control. Después de que esto se haya hecho, la unidad de control reconoce que la línea troncal específica, se ha explorado completamente. Esto puede ocurrir de manera predeterminada cuando las señales de orden transmitidas a lo largo de esta línea troncal quedan sin respuesta. En ese momento, la unidad de control emite una señal de orden que tendrá el efecto de cambiar el estado de funcionamiento del siguiente accionador de fila encontrado en la línea principal con el fin de acceder a la siguiente línea troncal/fila de detonadores. Esto continúa hasta que se haya interrogado cada detonador en cada fila de detonadores en el sistema de voladura por la unidad de control. Mediante el acceso selectivo y secuencial del sistema de voladura, y mediante el interrogatorio de los detonadores individuales, la unidad de control es capaz de determinar la disposición de los detonadores y proporcionar detalles de los mismos según sea necesario.

Las características de los accionadores de fila y las puertas, en términos de sofisticación de funcionamiento, variarán en función de la complejidad de la disposición de voladura de los detonadores. Lo que se entiende por la presente puede ilustrarse con referencia a las figuras no limitativas adjuntas.

La figura 1 muestra un sistema de voladura (1) que comprende una línea principal (2) conectada a una unidad de control (3). Recorriendo la línea principal (2) están tres filas de detonadores electrónicos (4) proporcionados en sus respectivos barrenos. Cada fila contiene cuatro detonadores electrónicos (4). Cada detonador se proporciona en una línea troncal (5) que está conectada a la línea principal (2) a través de un accionador de fila (6). Entre cada detonador (4) a lo largo de una línea de arnés troncal (5) se proporciona una puerta (7). En la realización mostrada hay tres puertas (7) por línea de arnés troncal (5).

En esta realización, la unidad de control (3) está conectada en un extremo de la línea principal (2). Inicialmente, todos los accionadores de fila (6) y las puertas (7) están configurados de tal manera que el sistema de voladura (1)

no es accesible con respecto a las señales de orden generadas por la unidad de control (3) y transmitidas a lo largo de la línea principal (2). En la práctica de la invención, la unidad de control (3) transmite una señal de orden adecuada que hace que el primer accionador de fila encontrado (6*) cambie su estado con el fin de permitir que las señales de orden de la unidad de control accedan a la línea troncal correspondiente (5*). Posteriormente, el primer detonador (4*) proporcionado en la línea troncal (5*) es accesible a las señales de orden desde la unidad de control (3) transmitidas a lo largo de unas partes de las líneas primaria y troncal (2, 5*). Tras la recepción de una señal de orden adecuada este primer detonador (5*) es capaz de reportar información a la unidad de control (3), en la que se registra la información. En este momento en el tiempo el accionador de fila (6*) permite a la unidad de control (3) enviar las señales de orden a lo largo de solo la primera línea de arnés troncal (5*) estando las otras líneas troncales (6**, 6***) conectadas aguas arriba de la línea principal (2) aisladas y no accesibles a la unidad de control (3).

Después de que se haya registrado la información relevante asociada al primer detonador (4*) por la unidad de control (3), se evita que la unidad de control (3) interroge al siguiente detonador (4) a lo largo de la línea troncal (5*) por la presencia de la puerta (7*). En su estado inicial esta puerta evita que las señales de orden se transmitan adicionalmente a lo largo de la línea troncal (5*). Sin embargo, en respuesta a una señal de orden adecuada desde la unidad de control (3), la puerta (7*) se somete a un cambio en el estado de funcionamiento permitiendo de este modo que el siguiente detonador (4**) a lo largo de la línea troncal (5*) informe a la unidad de control (3) en respuesta a una señal de orden apropiada. La transmisión de unas secuencias apropiadas de señales de orden de esta manera permite que la unidad de control (3) derive información sobre cada detonador (4) proporcionado en la primera línea troncal (5*).

Cuando no hay más detonadores (4) a registrarse en la primera línea troncal (5*) la unidad de control (3) transmite una señal de orden que tiene el efecto de cambiar el estado de funcionamiento inicial (cerrado) del siguiente accionador de fila (6**) encontrado en la línea principal (2). Este accionador de fila (6**) permite a continuación que la línea troncal correspondiente (5**) pueda accederse por las señales de orden de la unidad de control (3). Mediante la transmisión de las señales de orden apropiadas, es posible que cada detonador (4) se registre en esta línea troncal (5**). Los detonadores en la línea troncal restante, es decir, la más alejada de la unidad de control (3), pueden registrarse de manera similar.

La secuencia de etapas necesarias para determinar la disposición de los detonadores debería ser a lo largo de las líneas:

1. Ir al siguiente accionador de fila
2. Incrementar registro en el número de fila
3. Conmutar el accionador de fila a "encendido"
4. Incrementar el registro en el número de detonador (agujero)
5. Registrar un nuevo detonador
6. Si hay una puerta adicional a lo largo de la fila, abrir la puerta e ir a la etapa 4
7. Si no hay una puerta adicional a lo largo de la fila, ir a la etapa 1
8. Si no hay un nuevo accionador de fila, fin

En esta realización, los accionadores de fila y las señales de orden transmitidas por la unidad de control pueden ser relativamente simples con el fin de lograr el resultado deseado porque solo hay una línea troncal asociada con cada accionador de fila. Con disposiciones más complejas pueden pedirse accionadores de fila más sofisticados y las señales de orden pueden necesitar ser más detalladas y específicas en el contenido. Lo que se quiere decir con esto, puede entenderse con referencia a las figuras 2a y 2b que ilustran otra realización de la presente invención.

Usando una nomenclatura similar a la usada en la figura 1, la figura 2a muestra un sistema de voladura (1) que comprende una línea principal (2) conectada a una unidad de control (3). Recorriendo la línea principal (2) están tres filas de detonadores electrónicos (4) proporcionados en sus respectivos barrenos. En este caso, sin embargo, hay un total de cinco líneas troncales (5) que definen solo tres filas de detonadores (4). Tres de las líneas troncales incluyen dos detonadores. Las dos líneas de arnés troncales restantes incluyen un único detonador (4) solamente. Los barrenos A se omiten de un patrón de otro modo geoméricamente regular. Cada línea troncal (5) está conectada a la línea principal (2) a través de un accionador de fila (6). En este caso el accionador de fila (6) está configurado para permitir que las dos líneas troncales se accedan secuencialmente por la unidad de control (3). La configuración general del accionador de fila (6) se ilustra con más detalle en la figura 2b. En este caso, a modo de ejemplo, el accionador de fila (6) se muestra como que incluye dos interruptores que permitirán la disposición de los detonadores que se determinará por la transmisión secuencial de unas señales de orden desde la unidad de control. Se incluyen las direcciones de los puntos cardinales en la figura para facilitar la consulta. En la realización mostrada, los accionadores de fila (6) usados son del mismo diseño siendo la orientación relativa de los mismos importante para un funcionamiento satisfactorio. Las puertas (7) están dispuestas entre detonadores (4) en la misma línea troncal (5).

Inicialmente, los dos interruptores en cada accionador de fila (6) están en la posición abierta. Tras la recepción de una señal de orden adecuada desde la unidad de control (3) el interruptor "sur" del primer accionador de fila (6*) encontrado en la línea principal (2) se cierra, permitiendo de este modo que la unidad de control (3) transmita las

señales de orden a los componentes proporcionados en la línea troncal que se extiende en la dirección oeste (5W). Posteriormente, las señales de orden pueden entonces aplicarse para registrar los detonadores (4) en esta rama del sistema con la activación adecuada de la puerta de intervención (7) según sea necesario. Cuando se han registrado estos detonadores (4), se transmite una señal de orden con el fin de cerrar el interruptor “este” del accionador de fila (6*) permitiendo de este modo que se acceda a la línea troncal que se extiende en la dirección este (5E). Cuando esto se ha terminado, una señal de orden correspondiente cierra el interruptor “sur” en el siguiente accionador de fila (6**) a lo largo de la línea principal (2). Los detonadores (4) presentes en las líneas troncales (5) desde este accionador de fila (6**) pueden entonces registrarse de la manera descrita. Este proceso se repite hasta que cada detonador en cada fila de detonadores se ha registrado por la unidad de control.

El accionador puede ser cualquier tipo de dispositivo electrónico que cumpla la función necesaria como se describe en respuesta a una señal de orden apropiada transmitida por la unidad de control. El tipo de accionador usado para un sistema de voladura dado se selecciona de tal manera que todos y cada detonador en el sistema puede accederse y registrarse de acuerdo con la invención. El tipo de accionador usado dependerá de su posición en el arnés de superficie. Por lo tanto, cuando se proporciona el accionador en un punto de unión, por ejemplo, cuando una o más líneas troncales se ramifican de una línea principal, el accionador debe adaptarse para permitir que cada rama del sistema que se extiende desde la misma tenga acceso a la unidad de control. En este caso el accionador incluirá una línea de entrada para recibir las señales de orden desde la unidad de control y al menos dos líneas de salida, estando el accionador adaptado para permitir el acceso secuencial para cada línea de salida. Esta disposición se ilustra en la figura 1 mediante los accionadores de fila (6**, 6***). En esta realización, los accionadores adquieren una configuración en Y. Sin embargo, debería apreciarse que son posibles otras configuraciones, tal como una configuración en T o en X. Esto último se ilustra en las figuras 2a y 2b, en las que se proporciona el accionador (6) en forma de un interruptor cardinal.

Por otra parte, puede usarse una configuración de accionador relativamente simple cuando el accionador sirve como una puerta controlable entre dos componentes. Esta disposición se muestra en la figura 1, en la que se proporcionan los accionadores/puertas (7) en una línea troncal entre los detonadores adyacentes. En este caso, los accionadores funcionan como unos puntos de control lineales con una única línea de entrada y una única línea de salida.

Preferentemente, al menos uno, o cada, accionador tiene la capacidad de comunicar a la unidad de control su estado de funcionamiento existente y/o si un cambio en el estado de funcionamiento se ha efectuado correctamente. El accionador puede presentar otras funciones, tales como la capacidad de realizar diagnósticos en el cableado y los detonadores locales y reportar los resultados de los mismos a la unidad de control. El accionador puede realizar también una amplificación de señal para garantizar que las señales de orden que emanan de la unidad de control (y que pasan a través del accionador) tienen suficiente fuerza e integridad para que se actúe sobre todo el sistema de voladura. Esto puede ser especialmente útil en sistemas de voladura extensos.

Un requisito principal del accionador es que puede controlarse mediante la aplicación de unas señales de orden a través del arnés al que está conectado el accionador. En una realización, el estado del accionador puede cambiarse de una manera reversible en respuesta a unas señales de orden apropiadas.

Al seleccionar un accionador adecuado para su uso en la presente invención, es necesario considerar su resistencia eléctrica y por lo tanto la caída de tensión que se asociará con el accionador durante su uso. Esto se debe a que la caída de tensión atribuible a los accionadores a lo largo del sistema de voladura será acumulativa. Si la caída de tensión es demasiado alta, hay una baja transferencia de energía y pueden surgir problemas de comunicación. La caída de tensión asociada con un tipo particular de accionador puede influir en la extensión y en la complejidad del sistema de voladura en el que puede usarse el accionador. Por ejemplo, cuando el sistema de voladura incluye un gran número de detonadores, también será necesario usar un gran número de accionadores para permitir que la presente invención se ponga en práctica. En este caso, para evitar la caída de tensión excesiva en todo el sistema, será necesario emplear accionadores con una caída de baja tensión individual. Por el contrario, para las disposiciones relativamente simples de los detonadores que requieren un menor número de accionadores, como puede ser el caso en un tiro de cantera, puede ser posible usar unos accionadores que tengan una caída de tensión relativamente alta asociada con su uso. Un experto en la materia será consciente de, o será capaz de determinar la caída de tensión máxima que puede tolerarse en una situación práctica dada y de seleccionar, en consecuencia, los accionadores apropiados.

También es importante que cada accionador usado de acuerdo con la invención sea capaz de manejar el tipo de niveles de corriente que se requerirán por la unidad de control para comunicarse con los detonadores y accionadores aguas abajo a través de todo el sistema de voladura. Sin embargo, el consumo de corriente debería mantenerse dentro de unos límites razonables, ya que las altas corrientes también se prestan a altas caídas de tensión en la red de los componentes que constituyen el sistema de voladura. Esto puede ser especialmente crítico cuando la unidad de control se alimenta mediante una batería. Una vez más, un experto en la materia debería estar familiarizado con el tipo de corrientes de funcionamiento que se usarían en la práctica.

También puede ser importante para los accionadores individuales incluir alguna forma de protección contra las descargas estáticas ya que los mecanismos que componen el sistema de voladura es probable que se empleen en

situaciones en las que puede ser frecuente la generación de electricidad estática. Un experto en la materia estará familiarizado con los métodos de fabricación de componentes electrónicos, tales como los accionadores estáticamente inmunes.

5 Una consideración adicional en seleccionar un accionador puede ser el coste. En la práctica, esto es probable que sea una consideración importante, dado que puede necesitar emplearse un número significativo de accionadores en un sistema de voladura.

Se apreciará a partir de lo anterior que, en general, tendrá que tenerse en cuenta una serie de factores al seleccionar el tipo de accionador para su uso en la presente invención. Esta selección implicará una consideración del tamaño y la complejidad del sistema de voladura, y de las características de funcionamiento propuestas del sistema. En igualdad de condiciones, en última instancia, el coste puede dictar el tipo de accionador que se usa.

La complejidad necesaria del accionador variará en función del contexto en el que se usa, como será evidente a partir de la exposición anterior. En su forma más simple el accionador puede ser un interruptor, tal como un interruptor operado por relé, que está adaptado para hacer funcionar (cerrar) el interruptor en respuesta a una señal de orden apropiada recibida desde la unidad de control. Si se proporciona el accionador en la unión de una línea principal y dos líneas troncales, como se representa en las partes del sistema de voladura mostradas en la figura 2b, pueden estar presentes múltiples interruptores en un único accionador y estos interruptores individuales deben adaptarse para permitir el control selectivo por el módulo de control.

Cualquier componente electrónico que satisface los diversos requisitos de funcionamiento descritos en el presente documento puede usarse como un accionador en la práctica de la presente invención. Normalmente, el componente electrónico comprenderá un interruptor. Cada interruptor puede ser un dispositivo discreto. Como alternativa, en las realizaciones más sofisticadas de la invención, el interruptor puede estar integrado en un circuito integrado de aplicación específica (ASIC). Los dispositivos útiles como los accionadores en la presente invención se conocen en la técnica o pueden construirse a partir de componentes convencionales, teniendo en cuenta la funcionalidad necesaria.

El accionador puede comprender un interruptor de tipo mecánico tal como un relé mecánico, o un interruptor de tipo electrónico. Teniendo en cuenta los diversos problemas descritos en relación con la selección del accionador, unos ejemplos específicos de accionadores que pueden ser útiles en la práctica de la presente invención incluyen relés (tales como relés de láminas, relés de enganche, relés bipolares y relés de estado sólido), interruptores de transistor (tales como los interruptores de transistor BJT, los interruptores de transistor Darlington y los interruptores de transistor de efecto de campo (FET)), interruptores analógicos, fotoacopladores, interruptores IGBT e interruptores SCR. El uso de ciertos tipos de estos accionadores puede estar restringido a las redes relativamente simples de un número limitado de detonadores debido a las características de funcionamiento inherentes del accionador. Por lo tanto, cuando se usan los interruptores de transistor Darlington, después de unos interruptores en serie, la caída de tensión total se vuelve poco práctica para los sistemas de voladura a gran escala. Los relés bipolares, por otra parte, están libres de cualquier caída de tensión una vez conectados. Tales relés requieren un impulso (por ejemplo, una descarga de cebo) para conectarse y un impulso inverso para desconectarse. Sin la energía de control se mantienen en la posición de ajuste. Adicionalmente, los relés bipolares no requieren mucho a modo de protección contra las descargas electrostáticas.

Los interruptores analógicos son ideales en aplicaciones de baja distorsión y por lo general son preferibles a los interruptores mecánicos en los que se requiere una conmutación de corriente. Los interruptores analógicos tienden a tener bajos requerimientos de energía y una buena fiabilidad. Los interruptores analógicos útiles incluyen interruptores analógicos cuádruples disponibles comercialmente, por ejemplo, disponibles en Maxim Integrated Products. Los ejemplos de productos comercialmente disponibles incluyen los interruptores analógicos cuádruples MAX 4601, MAX 4602 y MAX 4603. Los interruptores analógicos que tienen características de funcionamiento similares y adecuadas están disponibles comercialmente en otras fuentes.

En una realización preferida, los interruptores usados en los accionadores se implementan como transistores de efecto de campo (FET). La figura 7 ilustra un circuito de conmutación de ejemplo 700 que incluye unos FET 702 y 704. En la realización mostrada, V1 es un generador de onda cuadrada de ± 13 V 1 kHz. V2 es un generador de onda sinusoidal bipolar de 12 V. La caída de tensión a través de los FET depende ligeramente de la corriente aplicada. Para esta alta carga es aproximadamente de 0,5 V y para una carga de 100 ohmios es aproximadamente 0,1 V.

Los interruptores FET tienen características que los hacen especialmente adecuados para su uso en la presente invención. La corriente de control necesaria es prácticamente cero después de la corriente de conmutación inicial y el interruptor FET tiene muy baja resistencia de "encendido" que resulta en una caída de tensión adecuadamente baja. Sin embargo, los interruptores FET son sensibles a la estática y por lo tanto requieren una circuitería de protección estática.

El tipo de accionador usado entre LOS detonadores adyacentes puede depender de las características del accionador que se usa para controlar el acceso de las señales de orden a las líneas troncales individuales. Por

ejemplo, en la realización mostrada en las figuras 2a y 2b, cada accionador de fila está configurado para permitir acceder selectivamente a las líneas troncales individuales. En este caso la puerta proporcionada en cada línea troncal que compone una única fila puede ser la misma y por lo tanto sensible a la misma clase de señal de orden, ya que el accionador de fila permite la distinción entre las líneas troncales que están accediéndose en un momento dado. Sin embargo, puede lograrse el mismo resultado usando un diseño simplificado para el accionador de fila en el que solo la entrada "sur" está operativa en respuesta a una señal de orden apropiada. En este caso, sin embargo, cuando esta entrada se activa y hay dos líneas troncales conectadas a través del accionador de fila, ambas líneas troncales son potencialmente accesibles por la unidad de control. Se permite que las líneas troncales individuales a activarse puedan hacer uso de las puertas en cada línea para la que son sensibles a diferentes órdenes de funcionamiento, es decir, se usan puertas direccionables que responden a una señal de orden de puerta específica. De esta manera, es posible que la unidad de control explore una línea troncal antes que otra. En este caso, sin embargo, puede ser útil incluir una puerta adecuada antes del primer detonador proporcionado en cada línea troncal para evitar cualquier confusión en cuanto a qué detonador se está accediendo primero.

En función del diseño del sistema de voladura, y en particular de la sofisticación de los accionadores usados, puede necesitarse conectar la unidad de control en una localización específica en el arnés de superficie. Por ejemplo, en la realización mostrada en la figura 1, en la que se emplean unos accionadores de fila y unas puertas relativamente simples, es importante conectar la unidad de control a la línea principal aguas arriba del primer accionador de fila con el fin de determinar completamente la disposición del detonador. En otras realizaciones más sofisticadas de la invención, puede ser posible para la unidad de control determinar completamente la disposición de los detonadores independientemente de donde se conecta la unidad de control al arnés de superficie. Para esta capacidad, el sistema de voladura debería diseñarse de acuerdo con la selección y el uso de los accionadores adecuados.

En otra realización de la invención un accionador está asociado con un componente del sistema de voladura y la información relativa a esta asociación se almacena en el accionador y es accesible por la unidad de control. Esta realización se ilustra en términos generales en la figura 3.

La figura 3 muestra un número de detonadores (4) proporcionados en unos barrenos (8) que se extienden a lo largo de una fila. Cada detonador (4) está conectado a una línea troncal (5) que a su vez está conectada en un extremo de una línea principal por medio de un accionador de fila (no mostrado). A su vez, la línea principal está conectada a una unidad de control (que tampoco se muestra pero está en la dirección indicada como 3). Cada detonador tiene asociado con el mismo un accionador (S1, S2, S4 y S5). Además de cumplir con la función descrita anteriormente en respuesta a las señales de orden adecuadas de la unidad de control, cada uno de estos accionadores incluye cierta información relacionada con el detonador con el que está asociado. Por lo tanto, S1 incluye información que refleja que está unido a una longitud relativamente larga de línea descendente que permite a un detonador colocarse en o hacia la parte inferior del barreno. En contraste, S2 incluye información que refleja que está asociado con una longitud relativamente corta de línea descendente que está unido a un detonador para colocarse en o hacia la parte superior del barreno. Del mismo modo, S4 y S5 incluyen información relativa a los detonadores con los que están asociados. Cuando estos accionadores (S1, S2, S4 y S5) se acceden por la unidad de control, además de controlar el acceso de la unidad de control al detonador asociado, los accionadores están también adaptados para comunicar la información relevante sobre el detonador asociado.

En la realización (no limitativa) mostrada en la figura 3 se incluye un accionador adicional S3. Esta puerta no está asociada directamente con un detonador, pero puede, por ejemplo, asociarse con una longitud de línea de conexión (que se extiende entre los accionadores S2 y S4) e incluir información a este efecto que puede ser accesible a la unidad de control. Debería apreciarse que el enfoque adoptado en esta realización permitirá una imagen completa del sistema de voladura a comprobarse por el interrogatorio adecuado de la unidad de control.

Los detonadores electrónicos usados en la práctica de la invención pueden ser cualquiera de una variedad de diseños convencionales. Como mínimo, el detonador debe poseer un contador y un tiempo de retardo almacenado de manera que la alimentación se entregará al tren pirotécnico/explosivo del detonador después de la cuenta atrás del tiempo de retardo después de recibir una orden de "confirmación de disparo". Como sofisticación adicional y deseable, los detonadores pueden tener la capacidad de comunicar información de nuevo cuando se requiere a una unidad de control en respuesta a las señales de orden de interrogatorio adecuadas. El detonador puede tener una funcionalidad de memoria con el fin de almacenar unos datos de identificación específicos para el detonador. Estos datos pueden asignarse y almacenarse por el detonador antes de su uso, por ejemplo, en la fabricación, o programarse en el detonador durante el proceso de determinación de detonador tal como se describe en el presente documento. Los datos de identidad asociados con un detonador pueden usarse para permitir que los detonadores individuales se traten por la unidad de control facilitando de este modo la programación del tiempo de retardo del detonador. En este caso, dos detonadores en el sistema de voladura no tendrán la misma identidad. El detonador puede incluir ventajosamente un medio de calibrar el contador para garantizar la precisión incluso cuando los detonadores pueden estar en diferentes ambientes de temperatura. El detonador puede, por razones de seguridad, comunicarse en una tensión muy baja para iniciar el tren de pirotecnia/explosivos, es decir, en comunicación el detonador es inherentemente seguro. Los accionadores asociados con tales detonadores tendrán que ser capaces de funcionar a dos o más tensiones.

Ejemplos de detonadores electrónicos comercialmente disponibles adecuados para su uso en la presente invención incluyen el UniTronic™ y el i-Kona™, ambos disponibles en Orica.

5 Cada detonador se conecta a la línea de arnés de superficie mediante un conductor de 2 cables. Esto permite al
 10 detonador conectarse al arnés con relativa facilidad y evita los problemas encontrados con el tipo de sistemas de
 múltiples cables mencionados anteriormente. Pueden emplearse unos medios convencionales de conectar el
 conductor de 2 cables al arnés. El conductor de 2 cables usado para conectar cada detonador al arnés incluye 2
 cables conductores, uno un cable de tierra y el otro un cable de alimentación/comunicaciones. El cable de
 alimentación/comunicaciones es discontinuo, interrumpiéndose en un accionador proporcionado aguas arriba de
 cualquier detonador dado. La activación adecuada de la unidad de control mediante una señal de orden adecuada a
 partir de los resultados de la unidad de control en la terminación del circuito involucran a la línea de
 alimentación/comunicación, permitiendo de este modo que el detonador se acceda por la unidad de control. El
 propio arnés de superficie puede contener 2 o más conductores rodeados por una funda adecuada.

15 Los ejemplos de accionadores útiles en la práctica de la invención para controlar el acceso de una unidad de control
 se muestran en las figuras 4, 5 y 6. La figura 4 muestra un arnés que consiste en 2 líneas (9, 10) entre las que se
 conecta un accionador (11). El accionador incluirá un mecanismo que permite que sea sensible a las señales de
 orden adecuadas recibidas desde una unidad de control (no mostrado) a lo largo de las líneas de arnés (9, 10). El
 accionador (11) también incluye un interruptor (12) que puede cerrarse por la acción de un mecanismo de
 20 conmutación (13) del accionador (11). La disposición mostrada se denomina configuración de 2 cables 1 interruptor.

La figura 5 muestra una variación en la que el accionador (11) incluye dos interruptores (12a, 12b) con unos
 mecanismos de conmutación asociados (13a, 13b), es decir, una configuración de 2 cables 2 interruptores.

25 La figura 6 muestra una variación adicional en la que el arnés consiste en 3 líneas (14, 15, 16). Un detonador (17)
 está conectado a 2 de estas líneas (15,16) mediante un conductor de 2 cables (18a, 18b). Se proporciona un
 accionador (11) entre un par diferente de líneas (14, 15) e incluye un interruptor (12) que cuando está cerrado
 permitirá la comunicación con el detonador (17) a lo largo de las líneas 15, 16. Esta disposición es la denominada
 configuración de 3 cables 1 interruptor.

30 Se apreciará que una ventaja del sistema de voladura de la presente invención es que puede implementarse con
 facilidad usando un mecanismo relativamente simple. Un mecanismo de este tipo es probable que esté fácilmente
 disponible, y esto también puede tener implicaciones beneficiosas en los costes.

35 La presente invención se extiende también a un método de voladura en el que un sistema de voladura de acuerdo
 con la invención se implementa con el fin de permitir la disposición de detonadores a determinarse. En una
 realización, el método comprende además la programación de los detonadores individuales con tiempos de retardo
 basados en la disposición de los detonadores así determinados. En esta realización, la determinación de la
 disposición actual de los detonadores es fundamental para la programación apropiada de los detonadores. Una
 40 ventaja significativa asociada con este aspecto de la invención es que la determinación de los detonadores y la
 programación de los mismos pueden realizarse de manera remota por la unidad de control. Por lo tanto, no es
 necesario para un artífice visitar los detonadores individuales en el campo de detonación con el fin de realizar el
 registro del detonador (identidad y posición) con el fin de facilitar la programación del detonador.

45 El retardo de tiempo asignado a cualquier detonador dado variará en función de su posición en la secuencia prevista
 de disparo. Los detonadores pueden programarse selectiva y secuencialmente aplicando la misma metodología
 descrita en el presente documento para determinar la disposición de los detonadores. En este caso, los
 accionadores deben reconfigurarse antes de la programación. Como alternativa, cuando los detonadores
 individuales tienen datos de identidad, estos datos pueden usarse para facilitar la programación. En este caso, una
 50 vez que se ha cambiado el estado de funcionamiento de cada accionador, con el fin de efectuar la caracterización
 del sistema de voladura, no se requieren más cambios en el estado de funcionamiento del accionador.

Como se ha señalado, en función de la complejidad del sistema de voladura, puede ser necesario, con el fin de
 implementar la presente invención, el uso de accionadores que sean direccionables. El uso de accionadores
 55 direccionables también puede facilitar la programación de los detonadores individuales por la unidad de control, o
 permitir a la unidad de control realizar unas pruebas de diagnóstico en cualquier accionador y/o detonador dado en
 el sistema de voladura de la presente invención. El número de accionadores direccionables puede variar según se
 requiera. Por ejemplo, en la realización tratada anteriormente en relación con las figuras 2a y 2b, en la que cada
 accionador de fila usado solo tiene una entrada "sur", para permitir la distinción entre líneas troncales que se
 60 extienden desde cada accionador se usan unas puertas direccionables. En esta realización dos direcciones
 diferentes serán suficientes para permitir la distinción entre las líneas troncales. En otras disposiciones pueden
 requerirse más de dos accionadores direccionables.

En otra realización, la presente invención proporciona un método de voladura que comprende la instalación de un
 65 sistema de voladura de acuerdo con la presente invención, estando los detonadores dispuestos de acuerdo con un
 patrón de detonador predeterminado, determinando la disposición real de los detonadores operativamente

- conectados al arnés de superficie y comparando la disposición real de los detonadores con el patrón de detonador predeterminado con el fin de identificar posibles discrepancias entre los dos. En esta realización, la expresión “operativamente conectado” pretende significar que un detonador está conectado al arnés de superficie de tal manera que el detonador es capaz de recibir órdenes desde la unidad de control y de responder a las mismas como podría requerirse durante el uso del detonador en la práctica. Por lo tanto, comparando la disposición real de los detonadores potencialmente activos de acuerdo con lo determinado por la unidad de control con la disposición planeada de los detonadores de acuerdo con el patrón de detonador predeterminado (pretendido), es posible identificar cualquier variación entre la disposición real y la disposición tal como estaba planeada.
- Esta realización de la invención puede aplicarse para identificar fallos de conexión y, más importante, la localización de tales fallos de conexión en el contexto de la disposición planificada general de los detonadores. Si se encuentran fallos, puede ser necesario que el artificiero tenga que volver a entrar en la zona de la voladura para corregir los fallos. Tales fallos pueden incluir errores en la secuencia de conexión del detonador, detonadores no conectados al arnés de cableado, cables dañados debido al ambiente hostil de la minería y/o por las personas o los equipos, etc.
- Una vez que los fallos se han localizado y reparado, la unidad de control necesitará ejecutar su secuencia de programación de nuevo. Para esto, todos los accionadores tendrán que devolverse a su estado original en respuesta a una señal(s) de orden apropiada de la unidad de control. Esta reversibilidad en el estado de los accionadores es un aspecto preferido de la invención.
- Esta realización de la invención también puede incluir la etapa adicional de la programación de los detonadores individuales con un retardo de tiempo. El retardo de tiempo asignado a los detonadores individuales puede derivarse a partir del patrón predeterminado establecido para los detonadores. Ese patrón también incluirá invariablemente una información con respecto a la sincronización de detonador individual.
- En virtud de la activación de los accionadores en el arnés de superficie en secuencia, con el descubrimiento en paralelo de la identidad y la localización relativa de los detonadores, la unidad de control descubre qué detonadores están dónde. A continuación, la unidad de control puede proceder con el resto de su función, es decir, concretamente para asignar los tiempos de disparo para cada detonador. Estos tiempos de disparo pueden derivarse a partir de un plan de voladura almacenado en la memoria de la unidad de control, o pueden introducirse mediante un teclado uno por uno por el artificiero, o pueden introducirse como un retardo de inter-agujero entre detonadores en las líneas troncales y unos retardos inter-filas entre los conjuntos de detonadores en las líneas troncales sucesivamente disparadas. La unidad de control puede tener otras interfaces para el artificiero en la forma, tal vez, de opciones de menú, en las que el artificiero puede seleccionar los retardos que cambian en un patrón deseado desde un extremo de la fila al otro.
- La unidad de control usada en la práctica de la presente invención funciona siempre bajo el control de un microprocesador con el fin de realizarse según sea necesario. La unidad de control incluye medios para la transmisión de señales de orden a lo largo de un arnés de superficie a la que está conectada y medios para recibir una variedad de información devuelta a lo largo del arnés. La unidad de control también incluye medios para actuar sobre la información recibida con el fin de determinar la disposición de los detonadores en el sistema de voladura y para proporcionar una información acerca de esa disposición. Invariablemente, la unidad de control usada para determinar la disposición de los detonadores también se usa para controlar la función de detonador. Por lo tanto, la unidad de control se adaptará normalmente para realizar unas pruebas de diagnóstico en los detonadores y programar los detonadores con unos tiempos de retardo. Un experto en la materia debería estar familiarizado con el tipo de componentes que se requerirán en la unidad de control para lograr la funcionalidad requerida.
- En una realización preferida, y en función de las diversas realizaciones de la presente invención descritas en el presente documento, la unidad de control realiza una multitud de funciones, concretamente: identificar y registrar el tipo, el número y la secuencia de los accionadores que encuentra; activar sucesivamente los accionadores para exponer uno a la vez de los nuevos detonadores; determinar la condición de la línea descendente para el detonador, midiendo específicamente la corriente de fuga entre los 2 cables de la línea descendente; asignar un código de identificación a cada nuevo detonador, o asignar un tiempo de disparo al detonador, o grabar el código identificativo único que ya está almacenado en el detonador; asociar el código del detonador con su posición relativa; calibrar los contadores de los detonadores; asignar los tiempos de disparo a los detonadores; interactuar con un diseño de voladura almacenado; interactuar con el artificiero (o disparador); informar sobre errores; abortar la voladura en condiciones preprogramadas; comunicar el progreso en la programación del sistema al artificiero; enviar la orden de “disparo” (o las órdenes de “empezar a contar” o “confirmación de disparo”) para todos los detonadores; y exportar los detalles de la voladura bajo solicitud. La comunicación entre la unidad de control y los detonadores, los sistemas de almacenamiento de datos y el artificiero puede ser digital, analógica, visible (una interfaz gráfica de usuario) y/o audible. Las funciones anteriores de la unidad de control de voladura pueden realizarse mediante una única pieza de equipo o pueden realizarse por dos o más piezas de equipo.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de voladura electrónico (1) que comprende:

5 una unidad de control (3);
 un arnés de superficie;
 unos detonadores electrónicos (4) conectados al arnés de superficie mediante un conductor de 2 cables, unos
 detonadores individuales (4) que están adaptados para proporcionar información a la unidad de control (3) en
 10 respuesta a una señal de orden transmitida por la unidad de control a los detonadores individuales a lo largo del
 arnés de superficie;

en el que el arnés de superficie (2) incluye unos accionadores (6) que tienen un estado de funcionamiento que
 puede cambiarse en respuesta a unas señales de orden apropiadas transmitidas por la unidad de control con el fin
 15 de permitir a la unidad de control transmitir unas señales de orden a lo largo del arnés de superficie, estando los
 accionadores (6) colocados en el arnés de superficie para permitir una interrogación secuencial de los detonadores
 individuales (4) por la unidad de control (3) permitiendo de este modo la posición relativa de los detonadores (4)
 conectados al arnés de superficie a determinarse.

2. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el arnés de superficie
 20 comprende una línea principal (2) con unas líneas troncales (5) conectadas a la misma, en el que cada línea troncal
 (5) tiene conectada a la misma unos detonadores individuales (4) que componen la misma fila, en el que cada línea
 troncal (5) está conectada a la línea principal (2) por un accionador (6), y en el que cada línea troncal (5) incluye un
 accionador (6) entre los detonadores adyacentes (4).

3. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 2, en el que múltiples líneas troncales (5)
 25 están conectadas a la línea principal (2) por un único accionador (6) permitiendo este accionador (6) que se acceda
 secuencialmente a cada línea troncal (5) por la unidad de control (3).

4. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que al menos un accionador (6)
 30 tiene la capacidad de comunicar a la unidad de control (3) su estado de funcionamiento existente y/o si se ha
 efectuado con éxito un cambio en el estado de funcionamiento.

5. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que cada accionador (6) tiene la
 35 capacidad de comunicar a la unidad de control (3) su estado de funcionamiento existente y/o si se ha efectuado con
 éxito un cambio en el estado de funcionamiento.

6. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que al menos un accionador (6)
 40 tiene la capacidad de realizar unos diagnósticos locales en el cableado y los detonadores (4), e informar de los
 resultados de los mismos a la unidad de control.

7. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que al menos un accionador (6)
 es capaz de realizar una amplificación de señal para garantizar que las señales de orden que proceden de la unidad
 45 de control (3) tienen suficiente fuerza e integridad para que se actúe sobre todo el sistema de voladura electrónico
 (1).

8. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el estado de cada accionador
 (6) puede cambiarse de una manera reversible en respuesta a unas señales de orden apropiadas.

9. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que cada accionador (6)
 50 comprende un interruptor.

10. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el interruptor está integrado
 en un circuito integrado de aplicación específica (ASIC).

11. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el interruptor se implementa
 55 como un transistor de efecto de campo.

12. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que un accionador (6) está
 60 asociado con un componente del sistema de voladura (1) y la información relativa a esta asociación se almacena en
 el accionador (6) y es accesible por la unidad de control (3).

13. Un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el accionador (6) incluye
 una información relativa a un detonador (4) con el que está asociado.

14. Un sistema de voladura electrónico (1) de la reivindicación 1, en el que el arnés de superficie es un conductor de
 65 2 cables.

15. Un método de voladura en el que se implementa un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1 con el fin de permitir que la posición relativa de los detonadores (4) se determine por la interrogación secuencial de los detonadores individuales por la unidad de control del sistema de voladura electrónico (1).
- 5 16. Un método de acuerdo con la reivindicación 15 que comprende además la programación de los detonadores individuales (4) con tiempos de retardo basándose en la posición relativa de los detonadores (4) así determinados.
17. Un método de acuerdo con la reivindicación 16, en el que la determinación de la posición relativa de los detonadores (4) y la programación de los detonadores se realiza a distancia por una unidad de control (3).
- 10 18. Un método de voladura que comprende instalar un sistema de voladura electrónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1.
- 15 19. Un método de acuerdo con la reivindicación 18, que comprende además la etapa de la programación de los detonadores individuales (4) con un retardo de tiempo.

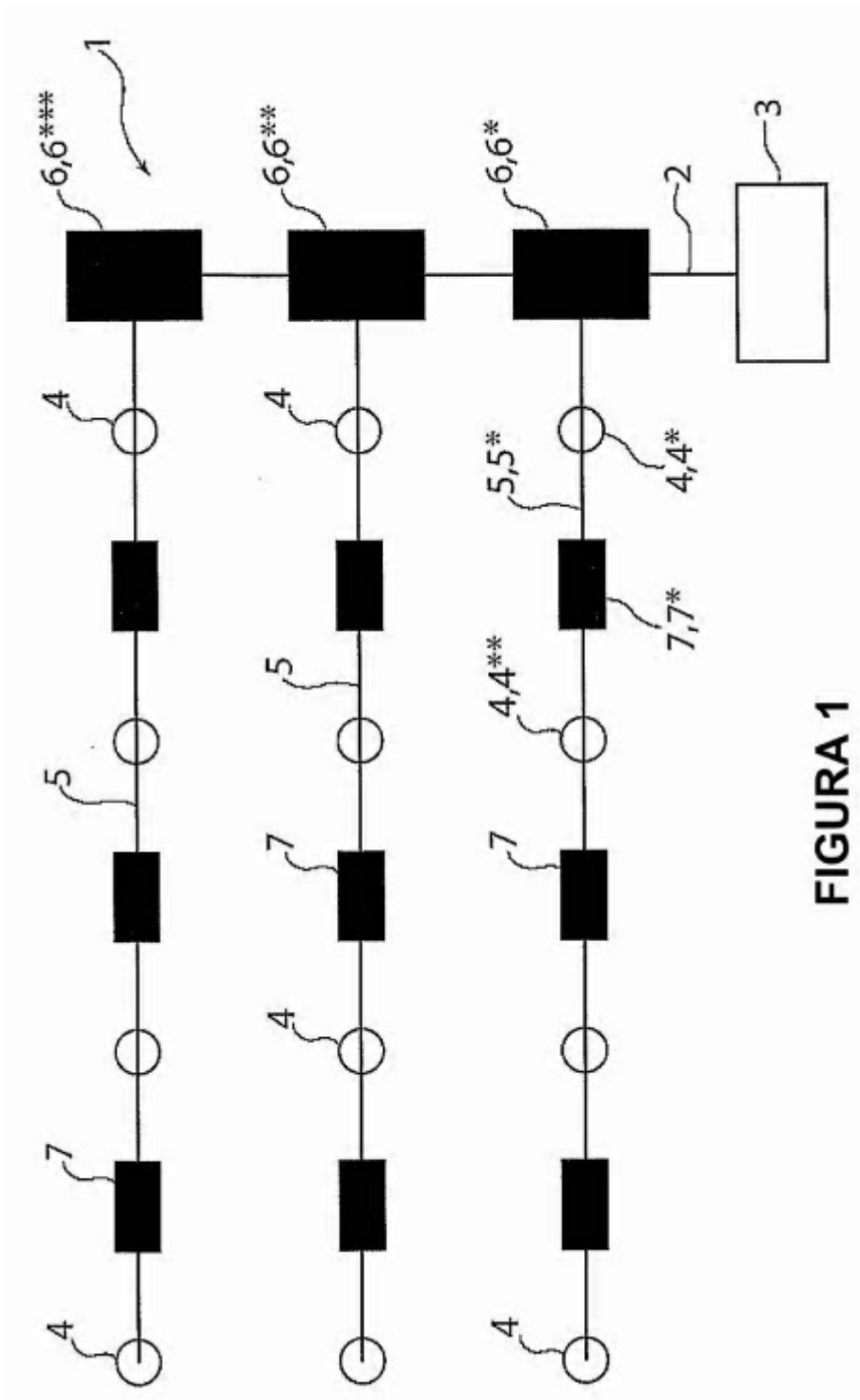
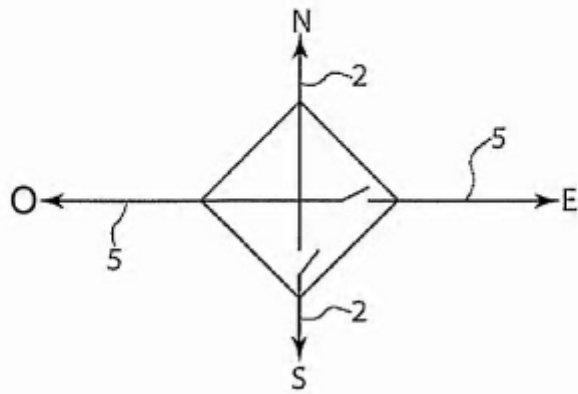
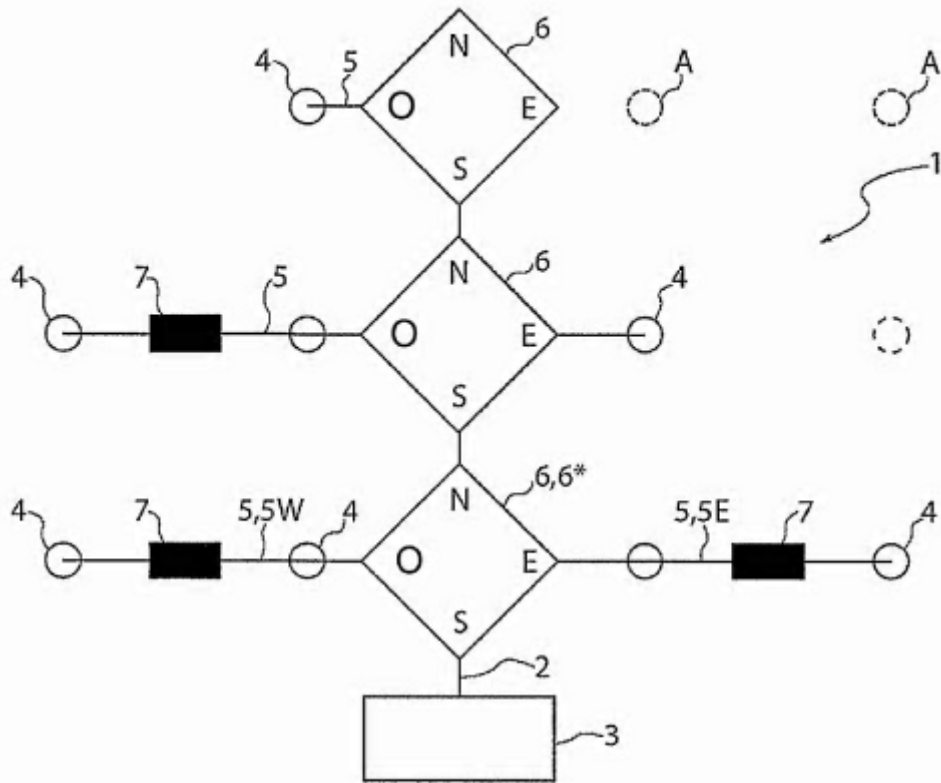


FIGURA 1



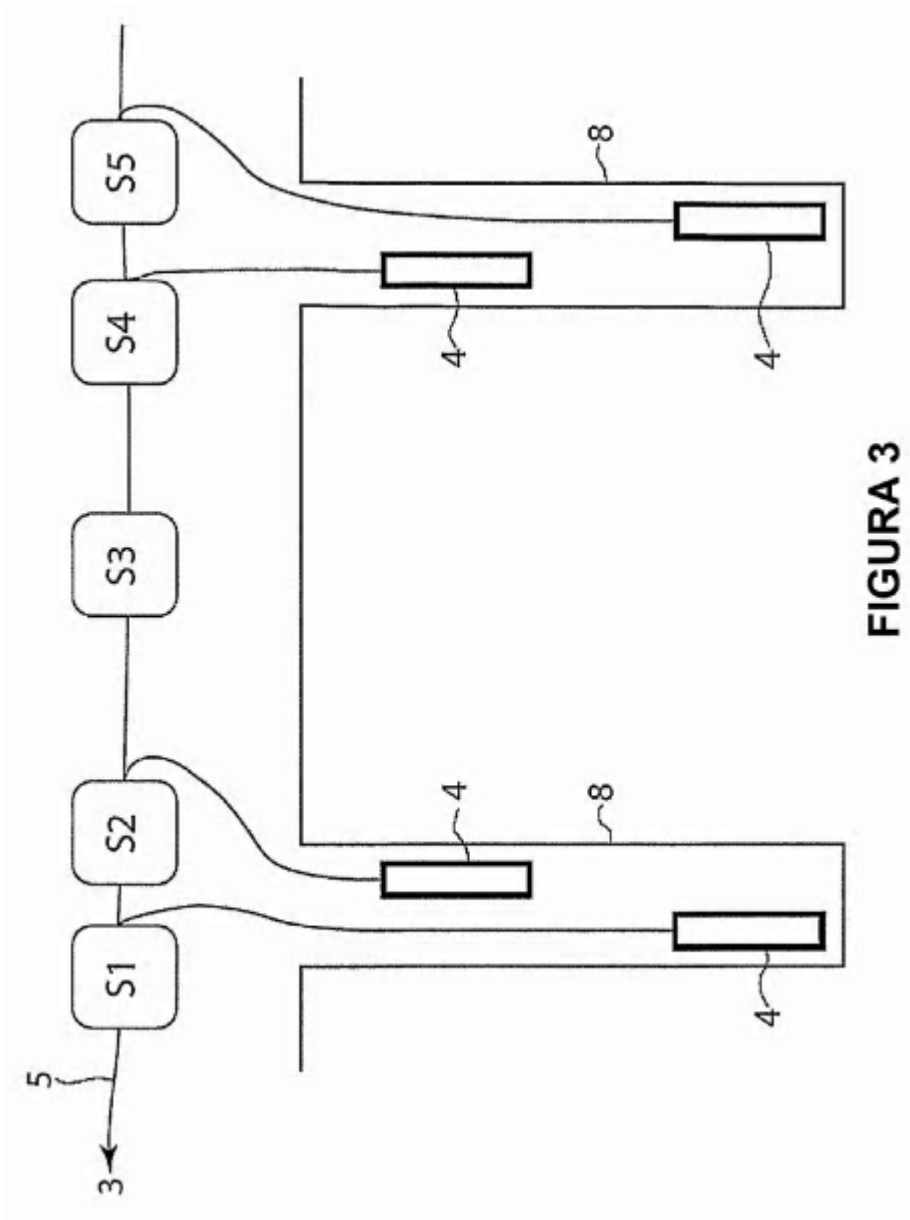


FIGURA 3

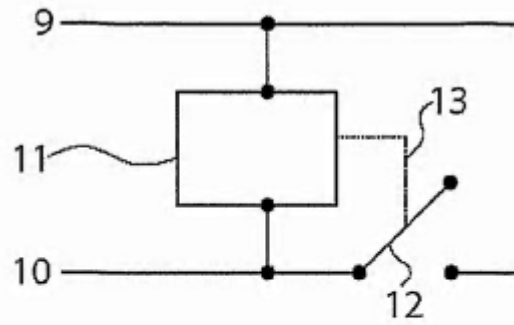


FIGURA 4

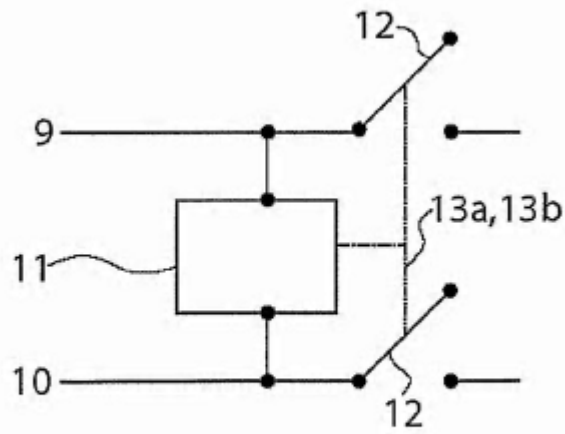


FIGURA 5

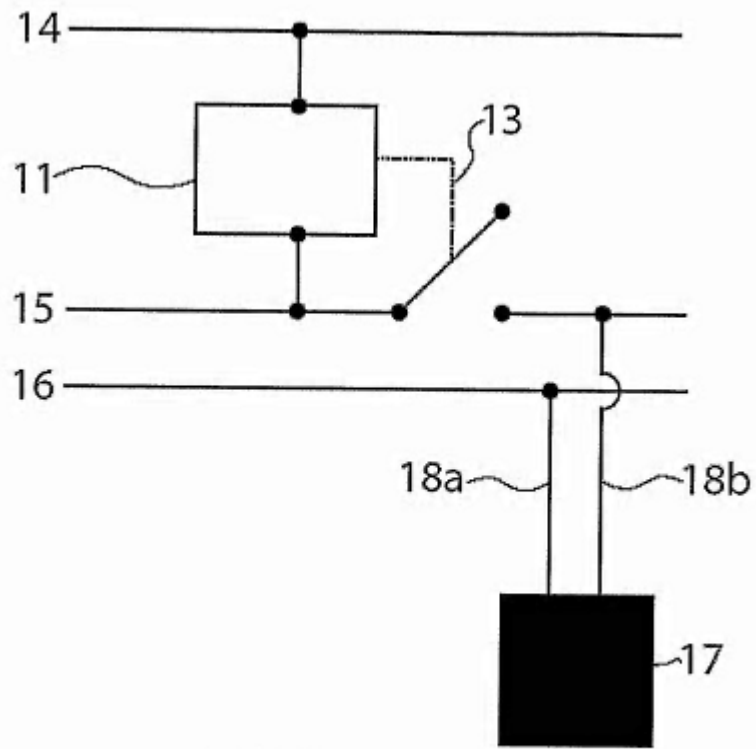


FIGURA 6

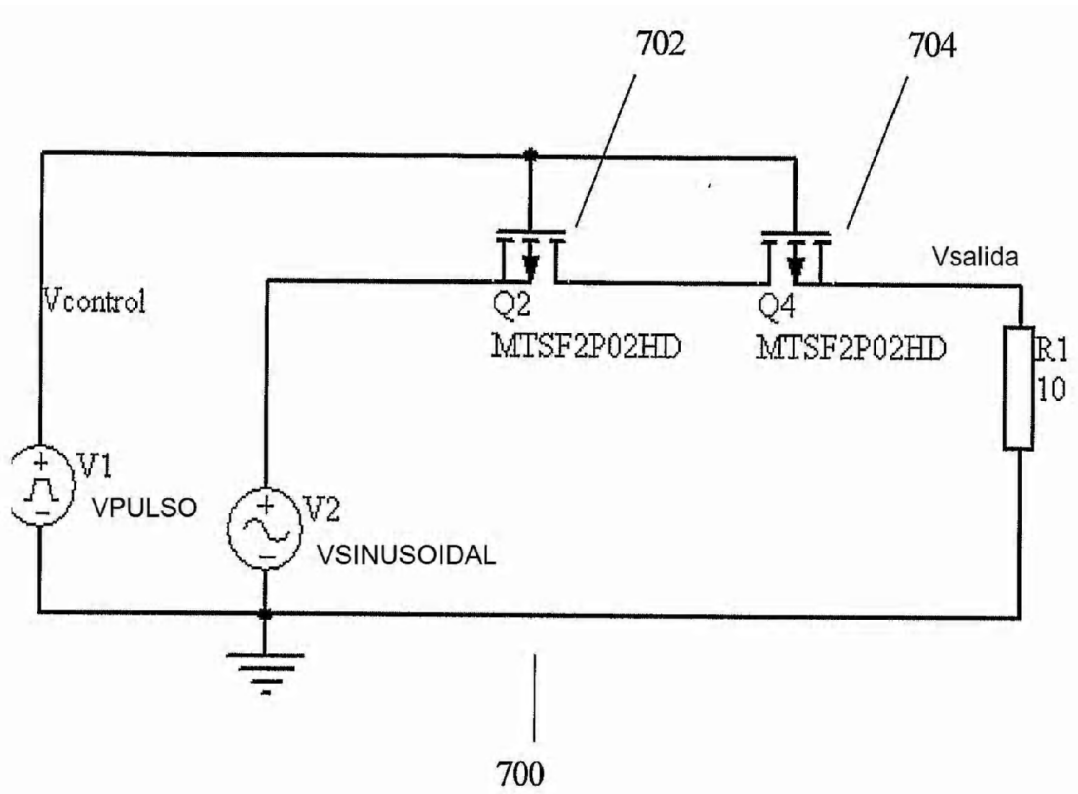


FIGURA 7