

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 569 527**

51 Int. Cl.:

F42B 3/113 (2006.01)

F42D 1/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2008** **E 08714411 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.01.2016** **EP 2142877**

54 Título: **Iniciación de materiales explosivos**

30 Prioridad:

16.03.2007 US 895321 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.05.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**GOODRIDGE, RICHARD JOHN;
APPLEBY, RODNEY WAYNE;
JOHNSON, DAVID OLAF y
MILLER, THOMAS**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 569 527 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

Iniciación de materiales explosivos

5 La presente invención se refiere a un sistema de voladura en el cual se inicia (se detona) una carga de explosivos. Más concretamente, la presente invención proporciona un sistema de este tipo que no depende del uso de detonadores convencionales. La presente invención también se refiere a un método de iniciación de una carga de explosivos que no requiere el uso de detonadores convencionales.

10 Antecedentes de la invención

Un detonador (o cebo detonante) es un dispositivo que se ha diseñado específicamente para iniciar la detonación de una carga mayor, separada, de explosivo secundario. Los detonadores se usan comúnmente en una amplia gama de operaciones comerciales en las que se detonan cargas explosivas, incluyendo minería, explotación de canteras y exploración sísmica. La idea convencional ha sido que el uso de detonadores es esencial para la implementación de tales operaciones. No obstante, esto conlleva consideraciones en lo referente a la cadena de suministro, la protección y la seguridad.

20 Frente a estos antecedentes, sería deseable proporcionar un sistema para iniciar una carga de explosivos que no dependiera del uso de detonadores. La presente invención busca proporcionar un sistema de este tipo.

25 El documento EP-A-0289184 describe un cebo detonante detonable por haz de láser que comprende unas porciones superior e inferior de una carga explosiva que se proporciona en una envuelta. Una fibra óptica se conecta con la porción superior. En la envuelta se proporciona una pared de contención, solamente en torno al lateral de la porción superior. La porción superior contiene un material de color negro que absorbe haces de láser. La densidad de carga de la porción superior es de 0,8-1,4 g/cm³ y de 1-1,7 g/cm³ para la porción inferior.

30 El documento US5179247 A describe un sistema de voladura sin detonador que forma un punto de partida para el preámbulo de la reivindicación independiente 1.

Sumario de la invención

35 De acuerdo con la presente invención se ha hallado que es posible iniciar una carga de explosivos sin recurrir al uso de dispositivos detonadores convencionales. Más específicamente, de acuerdo con la presente invención, las cargas explosivas se pueden iniciar usando un láser.

Por consiguiente, en una realización, la presente invención proporciona un sistema de voladura sin detonador que comprende:

40 un explosivo suelto;
un explosivo confinado; y
una fibra óptica adaptada para suministrar luz láser al explosivo confinado,

45 en el que el explosivo confinado se proporciona en relación con el explosivo suelto de tal modo que la detonación del explosivo confinado da lugar a la iniciación del explosivo suelto, y en el que una porción del explosivo confinado y una porción del explosivo suelto se encuentran en contacto directo o se proporciona una membrana directamente entre el explosivo confinado y el explosivo suelto, siendo la membrana de tal modo que se conserva la relación operativa prevista entre el explosivo confinado y el explosivo suelto y el explosivo confinado se confina en un elemento tubular alargado y en el que el diámetro interno del elemento tubular es mayor que el diámetro crítico para el explosivo que se confina, en el que un extremo expuesto de la fibra óptica se proporciona adyacente a, pero no en contacto con, el explosivo confinado de tal modo que hay un espacio de aire entre el extremo expuesto de la fibra óptica y el explosivo confinado.

55 En otra realización, la presente invención proporciona un método de iniciación de un explosivo suelto en un sistema de voladura de acuerdo con la invención, método que comprende detonar el explosivo confinado mediante irradiación con un láser, dando lugar de ese modo a la iniciación del explosivo suelto.

60 De acuerdo con la presente invención, un(a) (carga de) explosivo suelto se inicia mediante la detonación de un(a) (carga de) explosivo confinado. A su vez, la iniciación del explosivo confinado es causada mediante irradiación del explosivo confinado con luz láser. Por lo tanto, el explosivo suelto se inicia sin usar un dispositivo detonador convencional. Se considera que esto representa un avance importante en la técnica.

65 De acuerdo con la presente invención, la iniciación láser se obtiene calentando el explosivo confinado hasta que tiene lugar su ignición. El explosivo confinado se confina de tal modo que esta ignición inicial se propaga hasta una detonación completa. El explosivo confinado y el explosivo suelto se proporcionan uno en relación con otro de tal modo que la detonación del explosivo confinado da lugar a la ignición del explosivo suelto. En una realización de la invención, una porción del explosivo confinado y una porción del explosivo suelto pueden estar en contacto directo.

No obstante, en otras realizaciones esto puede no ser esencial siempre y cuando se conserve la relación operativa prevista entre los explosivos confinado y suelto. Por ejemplo, en determinadas realizaciones, los explosivos confinado y suelto pueden estar separados por una membrana o similar. En este caso, la membrana o similar se puede incluir por motivos de facilidad de fabricación; la membrana (o similar) no influye en la detonación del explosivo suelto.

El explosivo confinado por lo general es un material explosivo secundario. Los ejemplos de materiales adecuados incluyen PETN (tetranitrato de pentaeritritol), tetril(trinitrofenilmetilnitramina), RDX (trimetilentrinitramina), HMX (ciclotetrametilen-tetranitramina), pentolita (PETN y TNT (trinitrotolueno)) y similares. De estos, se prefiere el uso de PETN o pentolita. En una realización alternativa el explosivo confinado puede ser un explosivo en emulsión convencional, tal como una emulsión de agua en aceite que incluye una fase salina oxidante discontinua dispersa en un aceite combustible. Por lo general, estas emulsiones incluyen nitrato de amonio y/o nitrato de sodio como la sal oxidante. Las composiciones en emulsión de este tipo son muy bien conocidas en la técnica. Además, el explosivo confinado puede ser un explosivo en gel acuoso convencional que contiene una sal oxidante, un sensibilizador, un agente espesante, un agente reticulante y un combustible. Estas composiciones también son bien conocidas en la técnica.

En general, el explosivo suelto que se usa también es un explosivo secundario, del cual se han dado ejemplos en lo precedente. Si el explosivo confinado y el explosivo suelto son explosivos secundarios, se apreciará que el sistema de voladura de la invención esta libre de explosivos primarios. La carga de explosivos sueltos puede ser la misma que, o diferente que, el explosivo confinado. Cuando el explosivo confinado es el mismo que el explosivo suelto, la invención se puede implementar mediante un confinamiento adecuado de una porción del explosivo suelto.

Un aspecto importante de la presente invención es la forma en la que se confina el explosivo confinado, puesto que se ha hallado que la geometría del confinamiento es crítica para la detonación con éxito del explosivo suelto. Por lo tanto, el explosivo confinado se debería confinar de tal modo que contuviera la ignición inicial del explosivo confinado y que permitiera la subsiguiente propagación hasta la detonación completa. Es posible usar una variedad de medios (geometría y material) de confinamiento al implementar la presente invención.

El explosivo confinado se confina en un elemento tubular alargado. Por lo general, este será de sección transversal circular. Cuando se use un elemento tubular alargado, el diámetro interno del elemento tubular deberá ser mayor que el diámetro crítico para el explosivo que se confina. Cuando el explosivo confinado se confina fuertemente, por ejemplo, si el medio de confinamiento se fabrica de metal, el diámetro interno del elemento tubular puede ser hasta tres veces mayor que el diámetro crítico para el explosivo que se confina.

Un elemento tubular de sección transversal circular típico útil para la presente invención en general tiene un diámetro interno de aproximadamente 2 a aproximadamente 5 mm, por ejemplo, aproximadamente 3 mm, y una longitud de hasta aproximadamente 110 mm, por ejemplo de 20 a 110 mm. La longitud del elemento tubular que se requiere para la transición del explosivo confinado variará como entre diferentes tipos de explosivos. Por ejemplo, para PETN la longitud mínima del elemento tubular será de aproximadamente 30 mm, mientras que para la pentolita la longitud mínima será de aproximadamente 90 mm (para un diámetro interno de aproximadamente 3 mm).

El medio de confinamiento puede tener otras geometrías. Por lo tanto, es posible usar medios de confinamiento esféricos o cónicos.

Para fines de ilustración, la invención se describirá a continuación en conexión con un elemento tubular alargado de sección transversal circular como medio de confinamiento.

Los ejemplos de materiales adecuados para el medio de confinamiento incluyen metales y aleaciones metálicas, por ejemplo aluminio y acero, y materiales poliméricos de alta resistencia.

Por lo general, el explosivo suelto se proporciona en contacto (directo) con una porción del explosivo confinado. Si el explosivo confinado se confina en un elemento tubular alargado, el contacto requerido se puede obtener por medio de un extremo del elemento tubular en el cual se confina la porción confinada (estando este extremo alejado del elemento tubular al cual se suministra luz láser a través de la fibra óptica). Si se emplean otras geometrías del medio de confinamiento, es importante que al menos una porción el explosivo confinado esté en contacto con el explosivo suelto.

El sistema de voladura de la presente invención incluye una fibra óptica que está adaptada para comunicar luz láser al explosivo confinado. Esto se puede hacer al proporcionar un extremo de la fibra óptica (expuesta) en contacto con, o encapsulada en, el explosivo confinado. De este modo, un extremo de la fibra óptica se puede insertar dentro de un extremo del elemento tubular en el cual se confina el explosivo confinado. La fibra óptica por lo general tendrá un diámetro de 50 a 400 μm .

En una realización de la presente invención, el extremo expuesto de la fibra óptica se puede proporcionar adyacente a, pero no en contacto con, (la superficie externa de) el explosivo. Se descubrió que la provisión de un espacio (de aire) entre el extremo de la fibra óptica (expuesta) y el explosivo confinado tiene un efecto sobre la transferencia

térmica al explosivo confinado y, por lo tanto, sobre el tiempo de retardo entre el momento en el que se descarga la luz láser a través de la fibra óptica y el momento en el que se inicia el explosivo confinado. Más específicamente, se cree que el espacio actúa como un aislante que facilita una eficiente transferencia térmica al explosivo confinado mediante la minimización/evitación de efectos de conducción inversa. Preferiblemente, el extremo expuesto de la fibra óptica se proporciona separado por una corta distancia de la superficie del explosivo iniciador en el elemento tubular. Por lo general, esta corta distancia es de 5 μ m a 5,0 mm.

La fibra óptica es de diseño convencional y está provista con una capa de revestimiento. Esta se puede eliminar en un extremo de la fibra óptica cuando la fibra óptica se coloca en relación con el explosivo confinado que se proporciona en el elemento tubular. Las características de la fibra óptica se seleccionarán, entre otras cosas, basándose en la longitud de onda de la luz láser que se deberá comunicar al explosivo confinado. A modo de ejemplo, la longitud de onda por lo general es de 780 a 1450 nm.

El extremo expuesto de la fibra óptica por lo general se mantiene en una posición apropiada en relación con el explosivo confinado mediante un conector adecuado. Se puede usar una junta tórica para sujetar el extremo expuesto de la fibra óptica y para evitar fugas de gas.

En función de las características del sistema, incluyendo pero sin limitarse al aspecto de calentamiento del láser y al tipo de explosivo confinado que se usa, puede ser necesario que para implementar la presente invención se incluya en el explosivo confinado un medio de transferencia térmica no explosivo con el fin de mejorar el acoplamiento de la energía de la luz láser al explosivo confinado. Por lo general, el medio de transferencia térmica es un material que absorbe la luz láser el cual tiene una banda de absorción en la longitud de onda de la luz láser que se usa. Los ejemplos de los medios de transferencia térmica incluyen negro de carbono, nanotubos de carbono, nanodiamantes y colorantes láser. Tales materiales se encuentran comercialmente disponibles. En general, cuando se use, el explosivo confinado incluirá hasta un 10 % en peso de medio de transferencia térmica. La cantidad de medio de transferencia térmica que se debe usar se puede optimizar mediante experimentación.

De la misma manera se pueden incluir en el explosivo confinado otros aditivos que sirven como una fuente térmica y que participan activamente en reacciones de detonación. Estos materiales incluyen nanotermitas, nanometales, nanomateriales nitrados y otros combustibles con sensibilidad óptica. La cantidad de estos materiales puede ser de hasta un 10 % en peso de la porción confinada. Estos materiales se pueden usar en combinación con un medio de transferencia térmica o solos. El uso de uno o varios medios de transferencia térmica y/o materiales con sensibilidad óptica puede permitir que la detonación se logre con menores órdenes de magnitud de potencia de láser que si no se usan estos medios y/o materiales.

En general, la carga de explosivos que se desea detonar se proporciona en contacto (directo) con al menos una porción del explosivo confinado. Por lo general, este contacto tendrá lugar en el extremo del elemento tubular en el cual se confina el explosivo confinado, alejado del extremo del elemento tubular que se asocia con la fibra óptica. En función de la forma en la que se proporciona la carga explosiva, la carga de explosivos también puede rodear el elemento tubular en el cual se confina el explosivo confinado. Dicho de otra forma, el elemento tubular puede estar encapsulado en la carga de explosivos.

En una realización de la invención, la carga explosiva (suelta) adopta la forma de un intensificador auxiliar, por ejemplo, un intensificador auxiliar de pentolita. En este caso, el explosivo confinado, preferiblemente PETN o pentolita, se proporciona en un elemento tubular alargado que se encapsula en el intensificador auxiliar. El intensificador auxiliar se puede diseñar de forma adecuada para dar cabida al elemento tubular. Por lo tanto, el elemento tubular se puede proporcionar y afianzar en el intensificador auxiliar en una cavidad adecuada como es el caso para los intensificadores auxiliares iniciados mediante detonador. Por lo demás, es posible usar intensificadores auxiliares convencionales para llevar a cabo la presente realización.

Como alternativa, en otra realización de la invención, el intensificador auxiliar de pentolita se puede colar en torno a, y con, el elemento tubular que confina el explosivo confinado. En este caso, puede ser posible implementar la invención usando un intensificador auxiliar monolítico que comprende una envuelta/camisa y un elemento tubular formado en una sola pieza, el cual se extiende al interior de una cavidad definida por la envuelta/camisa. Entonces es posible colar un material o materiales explosivos adecuados dentro de la envuelta/camisa y elemento tubular.

Estas realizaciones de la presente invención que se refieren al intensificador auxiliar pueden tener aplicación práctica en la exploración sísmica en la que se usan intensificadores auxiliares (de pentolita) para generar señales (ondas de choque) para el análisis con el fin de determinar las características geológicas en la búsqueda de depósitos de petróleo y de gas. Por lo tanto, la presente invención se extiende al uso de la presente realización de la invención en la exploración sísmica.

En otra realización de la presente invención, la carga explosiva adopta la forma de una longitud de cordón detonante. En este caso, el extremo del cordón detonante se proporciona en contacto directo con al menos una porción del explosivo confinado. Es posible usar cualquier conector o medio de retención adecuado para asegurar la conservación de este contacto directo previo al uso. Dejando de lado la iniciación del cordón detonante, el cordón detonante se puede usar de la manera convencional. La detonación instantánea del cordón detonante a través de

múltiples agujeros de voladura puede resultar ventajosa en aplicaciones de voladura de demarcación previa y de demarcación de perímetro de túneles.

En otra realización, los explosivos confinados y sueltos pueden ser un material explosivo en emulsión. En este aspecto, es posible usar material explosivo en emulsión convencional. En la presente realización, una porción del material de explosivos en emulsión se puede confinar en un elemento tubular alargado adecuado y se puede sumergir/encapsular en material de explosivos en emulsión suelto. En la presente realización (y para todas las demás) la naturaleza y las dimensiones del medio usado para el confinamiento se pueden manipular con el fin de optimizar la implementación de la invención.

La luz láser que se requiere para iniciar el explosivo confinado de acuerdo con la presente invención puede emanar de una variedad de fuentes de láser, pudiéndose usar láseres tales como los láseres sólidos y los láseres gaseosos. Un haz de láser también puede ser generado por un diodo de láser. Por lo general, las características del haz de láser útil de acuerdo con la presente invención emanan de un diodo de láser que tiene una longitud de onda dentro de la región de infrarrojo cercano. En la práctica, el láser sería por lo general una unidad autónoma de diodo de láser y fuente de alimentación. El láser se puede acoplar de una manera convencional a la fibra óptica. Se encuentran comercialmente disponibles láseres, fuentes de energía y fibras ópticas útiles.

De acuerdo con las realizaciones de la presente invención, el uso de aditivos y separadores adecuados entre el extremo de la fibra óptica y el explosivo confinado puede permitir la iniciación de los explosivos usando unas potencias de láser de magnitud relativamente baja (menos de 1 W). En combinación con el uso de los diodos de láser, esto facilita ahora la implementación con éxito de la presente invención usando pequeños sistemas de láser de mano.

Breve descripción de las figuras

Se ilustran realizaciones de la presente invención en las figuras no limitantes adjuntas, en las cuales:

las figuras 1a, 1b, 2, 3 y 4 son unos diagramas esquemáticos que ilustran sistemas de voladura de acuerdo con la presente invención:

La figura 1a ilustra un sistema iniciador 1 que comprende un explosivo confinado 2 en un elemento tubular 3 alargado hecho de acero. Las dimensiones del tubo son 3,2 mm de diámetro interno, 6,4 mm de diámetro externo, 110 mm de longitud. El explosivo confinado es PETN y se encuentra compactado dentro del elemento tubular 3 a una densidad de carga de aproximadamente $1,0 \text{ g/cm}^3$. Cuando se usa pentolita, esta se puede colar dentro del tubo. La densidad de la pentolita colada es de $1,6 \text{ g/cm}^3$. Tanto el PETN como la pentolita se pueden dopar con un medio de transferencia térmica y/o material con sensibilidad óptica. Por lo general, en las realizaciones ilustradas en las figuras se ha hallado que el PETN y la pentolita dopados con un 2 % de negro de carbono son útiles para la implementación de la presente invención.

Un extremo del elemento tubular 3 se conecta a una fibra óptica 4 usando un conector de fibra óptica 5. La fibra óptica 4 incluye una capa externa de un revestimiento 6. El extremo expuesto de la fibra óptica 4 se extiende al interior del elemento tubular 3 y está en contacto con el explosivo confinado 2. El elemento tubular 3 se inserta dentro de un intensificador auxiliar por medio de una cavidad que se proporciona en el intensificador 7 auxiliar. Se usa una junta tórica para sujetar el extremo expuesto de la fibra óptica 4.

Durante el uso, se usa una fuente de láser (que no se muestra) para suministrar la luz láser a través de la fibra óptica 4 al explosivo confinado 2. Esto da lugar al calentamiento del explosivo confinado 2 que provoca la ignición. Si el explosivo confinado 2 se encuentra confinado de manera adecuada, la ignición inicial se propaga hasta una detonación completa. A su vez, esto da lugar a la detonación del intensificador 7 auxiliar.

La figura 1b muestra una disposición similar, pese a que en este caso se proporciona un espacio 8 entre el extremo de la fibra óptica 4 y el explosivo confinado 2. El efecto de este espacio 8 es el de retardar la transferencia térmica desde el extremo expuesto de la fibra óptica 4 al explosivo confinado 2, influyendo de ese modo en el tiempo de retardo entre cuando se descarga el láser y se inicia el explosivo iniciador.

La figura 2 ilustra un sistema iniciador 1 similar al que se muestra en la figura 1b, excepto que en la figura 2 un extremo expuesto de una longitud de cordón detonante 9 se proporciona en contacto con el explosivo confinado 2 en el elemento tubular 3. Para mantener al cordón detonante 9 en su sitio en relación con el explosivo confinado 2 se usan una tuerca de retención 10 y una férula 11 y un accesorio de compresión 12. Al igual que en la figura 1b, entre el extremo expuesto de la fibra óptica 4 y el explosivo confinado 2 se proporciona un espacio 8.

Una fuente de láser (que no se muestra) se usa para generar un haz de luz láser que se comunica a la porción 2 confinada por medio de la fibra óptica 4. Esto da lugar al calentamiento y la ignición de la porción 2 confinada. La detonación de la porción 2 confinada da lugar, a su vez, a la iniciación del cordón detonante 9.

Las figuras 3 y 4 se analizan a continuación en los ejemplos.

Los siguientes ejemplos no limitantes ilustran las realizaciones de la presente invención.

Ejemplos

En los ejemplos, el láser usado fue un diodo de láser Lissotschenko Mikrooptik (LIMO), específicamente un diodo de láser LIMO 60-400-F400-DL808 de 60 W. Este láser produce luz a una longitud de onda de 808 nm y se acopla a fibras ópticas de 400 μm . El láser requiere refrigeración y esto se hace usando un refrigerante de diodo de láser ThermoTek P308-15009. Para controlar la salida del láser se usa un controlador Amtron CS412. El láser y el refrigerante se instalaron en un recinto de preparación (aislado), y el controlador en un recinto de control separado. El recinto de preparación tiene una puerta instalada con unos dispositivos de enclavamiento que, si se accionan, apagarán el láser.

Para cada experimento, el láser se conecta a un sistema iniciador o componente de este mediante una fibra óptica (200 μm o 400 μm de diámetro) que se introduce en un tanque de voladura a través de un tubo que emana del recinto de preparación.

Iniciación de PETN

Una carga de PETN dopada con un 2 % de negro de carbono se preparó y se compactó a mano dentro de un elemento tubular alargado que tiene la forma de un conector SMA 905 pasante convencional. El extremo expuesto de una fibra óptica se insertó en el extremo del elemento tubular para lograr un contacto directo con el PETN dopado. El PETN dopado se sometió a una potencia de láser de 38 W. Se produjo un estampido significativo y no se observó remanente de PETN.

Iniciación de cordón detonante

La configuración ilustrada en la figura 2 se implementó con el fin de intentar la detonación de una longitud de 1 m de cordón detonante. Se usó un cordón de 10 g/m. En un conector SMA 905 pasante convencional se cargó PETN dopado con negro de carbono. El conector de fibra óptica fue un accesorio SMA 905 convencional. Como promedio, se cargaron en el conector pasante 0,3 g de PETN dopado con un 2 % de negro de carbono compactado a una densidad de aproximadamente 1,0 g/cm³. El conector pasante se insertó en un accesorio de compresión Yorlok en el que la soldadura a tope se escarió y se aterrajó para aceptar el conector pasante.

El explosivo iniciador se irradió con una potencia de láser de 38 W. Se halló que esto condujo a una detonación del cordón detonante, sin cordón remanente alguno después del experimento.

Para probar si el cordón detonante ha progresado hasta la detonación completa, se insertaron 3 metros de cordón detonante en el dispositivo iniciador láser. El extremo libre del cordón detonante se amarró para formar un pequeño nudo y se insertó en el extremo de un cartucho de 5 x 40 cm de emulsión Magnafrac compactada. El sistema se inició con 38 W de radiación láser. La velocidad de detonación del cartucho se midió mediante el método de dos hilos. El valor medido de 4820 m/s. El error en este método es de ± 200 m/s. Para comparación, se dispararon cinco cartuchos con cebos n.º 8 y se registraron las velocidades de detonación. La velocidad de detonación promedio fue de 4850 m/s. De este resultado, el cordón detonante había logrado, de hecho, la detonación completa.

Iniciación del intensificador auxiliar de pentolita

Se requiere un diseño que asegure que el explosivo iniciador experimentará una transición de deflagración a detonación (DDT por sus siglas en inglés) con el fin de iniciar un intensificador auxiliar.

Se llevaron a cabo una serie de experimentos en los que se confinan varios tipos de explosivo confinado en un tubo de acero inoxidable alargado que tiene 3,2 mm de diámetro interior, 6,4 mm de diámetro exterior, 110 mm de longitud. El tubo se selló en su extremo abierto (usando cinta de celofán) y se conectó en el otro extremo a una fibra óptica. El extremo expuesto de la fibra óptica se extiende al interior del explosivo iniciador. La disposición se muestra en las figuras 3 y 4.

La figura 3 muestra un explosivo confinado 2 que se proporciona en un tubo 3 de acero inoxidable alargado. El extremo del tubo 3 se sella con cinta de celofán 12 con el fin de evitar la pérdida de explosivo confinado 2. Esta cinta no tiene influencia sobre la implementación de la invención en lo que se refiere a cómo se logra la detonación del explosivo suelto. Una fibra óptica 4 se conecta a un extremo del tubo: 3 usando un conector 5 adecuado. El extremo expuesto de la fibra óptica 4 se extiende al interior de la porción 2 confinada. En la realización que se muestra en la figura 3, el explosivo confinado 2 puede estar compuesto de porciones discretas de diferentes materiales de explosivos (2a, 2b). La porción 2a adyacente al extremo expuesto de la fibra óptica 4 se puede hacer más sensible a la transferencia térmica que la porción alejada del extremo expuesto de la fibra óptica 4. Por lo tanto, la porción 2a puede comprender PETN dopado con negro de carbono y la porción 2b puede ser simplemente PETN.

La figura 4 ilustra el tubo 3 cuando está cargado en un intensificador 7 auxiliar. Para facilitar esto, el intensificador 7 auxiliar se puede proveer con una o varias cavidades. El tubo 3 se sella en la cavidad usando un adhesivo de resina

epoxídica 13. Por lo menos una porción de la longitud del explosivo confinado 2 se encuentra rodeada por el intensificador 7 auxiliar cuando el tubo se encuentra insertado en la cavidad del intensificador auxiliar.

- 5 La naturaleza del explosivo confinado usado, la potencia de láser, la aparición o no de la detonación y el tiempo (aproximado) entre cuando se activó el láser y cuando tiene lugar la detonación se muestran en la tabla siguiente. Una detonación con éxito se estimó comparando el daño causado a una placa testigo de HDPE (4 x 2 x 24 cm) usando un intensificador auxiliar iniciado de acuerdo con la presente invención con el daño causado al mismo tipo de placa testigo usando el mismo tipo de intensificador auxiliar (90 g de pentolita) iniciado con un cebo n.º 8.

Número de experimento	Composición de explosivo dentro del tubo	Potencia de láser (W)	Detonación	Retardo aproximado (segundos)
1.	0,3 g de PETN dopado con un 2 % de negro de carbono, resto PETN puro compactado a mano, fibra en contacto con PETN dopado	38	Si	Ninguno
2.	0,3 g de PETN dopado con un 2 % de negro de carbono, resto PETN puro compactado a mano, fibra en contacto con PETN dopado	1,0	Si	0,5
3.	0,3 g de PETN dopado con un 20 % de negro de carbono, resto PETN puro, fibra en contacto con PETN dopado	1,0	Si	0,5
4.	0,3 g de PETN dopado con un 50 % de negro de carbono, resto PETN puro, fibra en contacto con PETN dopado	1,0	No	
5.	0,3 g de PETN dopado con un 50 % de negro de carbono, resto PETN puro, fibra en contacto con PETN dopado	2,5	Sí	1,5
6.	Negro de humo espolvoreado sobre superficie entre fibra y PETN, fibra óptica en contacto con negro de carbono	11,0	Sí	0,5
7.	PETN puro, fibra en contacto	10	Sí	8
8.	0,3 g de PETN dopado con un 2 % de negro de carbono, resto PETN puro, espacio de 3 mm entre fibra y explosivo	1,0	Sí	ninguno
9.	0,3 g de PETN dopado con un 2 % de negro de carbono, resto PETN puro, espacio de 3 mm entre fibra y explosivo	0,5	Sí	> 0,5
10.	PETN suelto dopado con un 2 % de negro de carbono	38	Sí	13
11.	Pentolita colada dopada con un 2 % de negro de carbono	30	Sí	15 ms
12.	Pentolita colada dopada con un 2 % de negro de carbono	5	Sí	15 ms

- 10 Hay varias características notables. En primer lugar, parece ser que el negro de carbono es un agente efectivo para acoplar de forma eficiente la energía radiante al explosivo. Sin el negro de carbono se requiere una energía casi tres órdenes de magnitud superior para la iniciación que en el caso del PETN dopado con un 2 % de negro de carbono. La energía es simplemente la potencia multiplicada por el tiempo y, a una potencia constante tal como es suministrada por el láser, se requiere que el láser se aplique más tiempo para alcanzar un punto crítico. Para una comparación adicional, véanse los números de experimento 3 y 10.

- 15 En segundo lugar, parece ser que existe una concentración óptima de negro de carbono en el PETN. Los números de experimento 2 y 3 son idénticos, mientras que el aumento de la cantidad de negro de carbono a un 50 % tiene un efecto perjudicial. Aparentemente, existe un punto en donde el PETN se encuentra suficientemente diluido como para requerir sustancialmente más energía para ser iniciado. Esto pudiera ser o bien un efecto de transferencia térmica o bien una falta de capacidad del PETN de propagarse de forma adecuada en estas condiciones.

- 20 En tercer lugar, el espacio entre la fibra óptica y la superficie del explosivo tiene un efecto sustancial sobre el tiempo de retardo, tal como se puede apreciar en los experimentos 8 y 9. Lo más probable es que el espacio de aire esté actuando como una capa aislante.

- 25 En cuarto lugar, la pentolita colada dopada con negro de carbono se detonó fácilmente con una potencia de láser relativamente alta y baja.

- 30 Por último, y lo que es lo más importante, este diseño permite que los intensificadores auxiliares se puedan detonar con unas potencias de láser relativamente bajas. Como consecuencia, es bastante factible el diseño de un sistema de iniciación portátil.

- 35 A lo largo de toda la presente memoria descriptiva y de las reivindicaciones que siguen, se entenderá que la expresión "comprender", y variaciones tales como "comprende" y "comprendiendo/que comprende", implican la inclusión de un número entero o etapa expuesto o un grupo de números enteros o etapas especificados pero no la exclusión de ningún otro número entero o etapa o grupo de números enteros o etapas.

La referencia en la presente memoria descriptiva a cualquier publicación anterior (o información que se derive de la misma), o a cualquier asunto que sea conocido no es, ni debiera considerarse como, un reconocimiento o admisión, o forma alguna de sugerencia, de que la publicación anterior (o información que se derive de la misma) o el asunto conocido forme parte del conocimiento general común en el campo de actividad al cual se refiere la presente memoria descriptiva.

5

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de voladura sin detonador (1), que comprende:

- 5 un explosivo suelto (7);
un explosivo confinado (2); y
una fibra óptica (4) adaptada para suministrar luz láser al explosivo confinado (2),
caracterizado por que el explosivo confinado (2) se proporciona en relación con el explosivo suelto (7) de tal modo
que la detonación del explosivo confinado (2) provoca la iniciación del explosivo suelto (7), y por que una porción del
10 explosivo confinado (2) y una porción del explosivo suelto (7) se encuentran en contacto directo o se proporciona
una membrana (12) directamente entre el explosivo confinado (2) y el explosivo suelto (7) , siendo la membrana (12)
de tal modo que se conserva la relación operativa prevista entre el explosivo confinado (2) y el explosivo suelto (7) y
el explosivo confinado (2) se confina en un elemento tubular alargado (3) y en el que el diámetro interno del
elemento tubular (3) es mayor que el diámetro crítico para el explosivo que se confina,
15 caracterizado por que un extremo expuesto de la fibra óptica (4) se proporciona adyacente a, pero no en contacto
con, el explosivo confinado (2) de tal modo que hay un espacio de aire entre el extremo expuesto de la fibra óptica y
el explosivo confinado (2).
- 20 2. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el elemento tubular (3) se fabrica de metal y tiene un
diámetro interno hasta tres veces mayor que el diámetro crítico para el explosivo que se confina.
3. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el explosivo suelto (3) rodea el elemento tubular en el
cual se confina el explosivo confinado (2).
- 25 4. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el explosivo confinado (2) incluye un medio de
transferencia térmica no explosivo con el fin de mejorar el acoplamiento de la energía de luz láser al explosivo
confinado (2).
- 30 5. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el medio de transferencia térmica se selecciona de negro
de carbono, nanotubos de carbono, nanodiamantes y colorantes láser.
6. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el explosivo suelto (7) adopta la forma de un
intensificador auxiliar y el explosivo confinado (2) se proporciona en un elemento tubular alargado (3) que se
encapsula en el intensificador auxiliar.
- 35 7. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el explosivo suelto (7) adopta la forma de un
intensificador auxiliar en el que se cuele pentolita en torno al elemento tubular (3) que confina el explosivo confinado
(2).
- 40 8. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el explosivo suelto adopta la forma de una longitud de
cordón detonante (9) con un extremo del cordón detonante (9) estando provisto en contacto directo con al menos
una porción del explosivo confinado (2).
- 45 9. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el explosivo confinado (2) y el explosivo suelto (7) son
composiciones explosivas en emulsión.
10. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el explosivo suelto (7) es un explosivo en emulsión.
- 50 11. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el explosivo suelto (7) es un explosivo en gel acuoso
que contiene una sal oxidante, un sensibilizador, un agente espesante, un agente reticulante y un combustible.
12. Un método de iniciación de un explosivo suelto (7) en un sistema de voladura de acuerdo con la reivindicación 1,
método que comprende detonar el explosivo confinado (2) mediante irradiación con un láser, dando lugar de ese
55 modo a la iniciación del explosivo suelto (7).

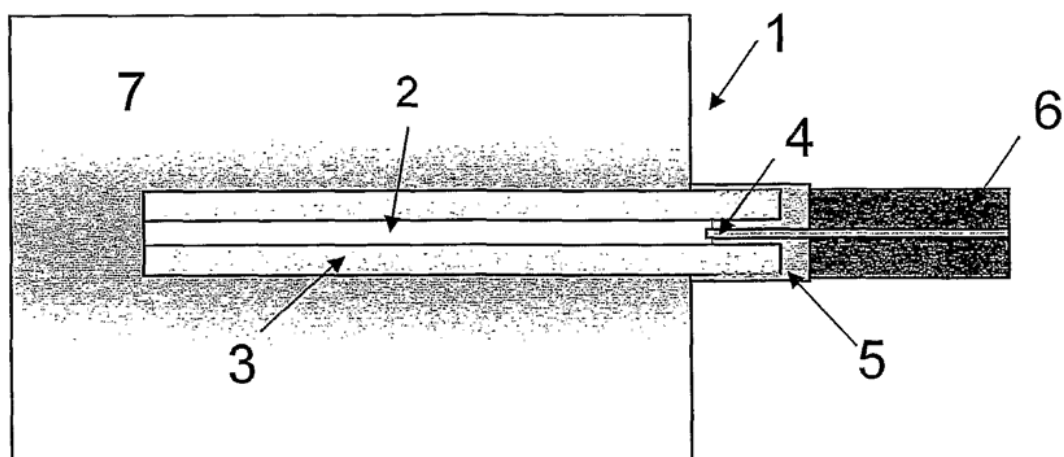


Figura 1a)

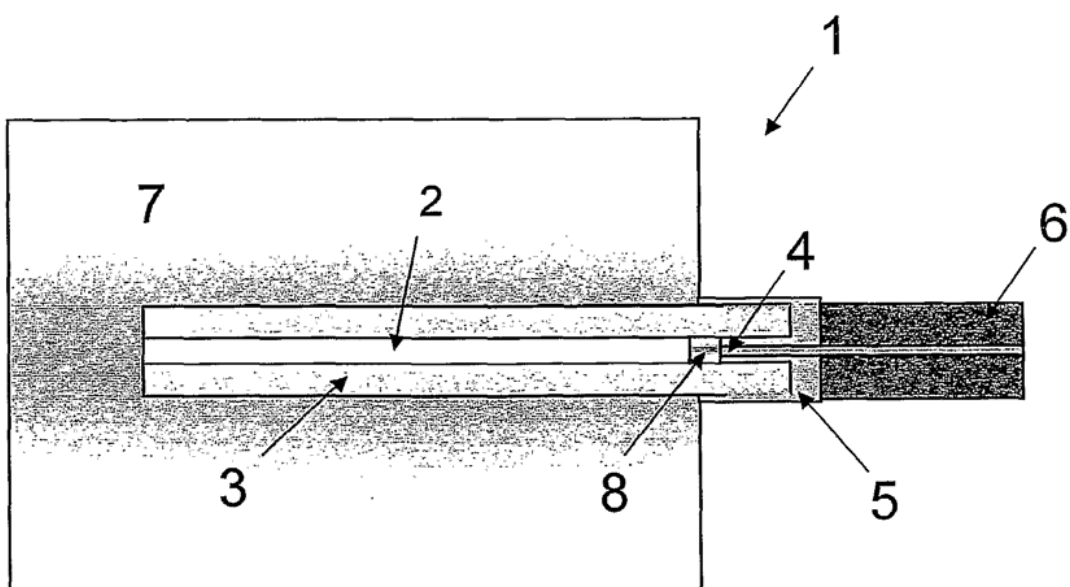


Figura 1b)

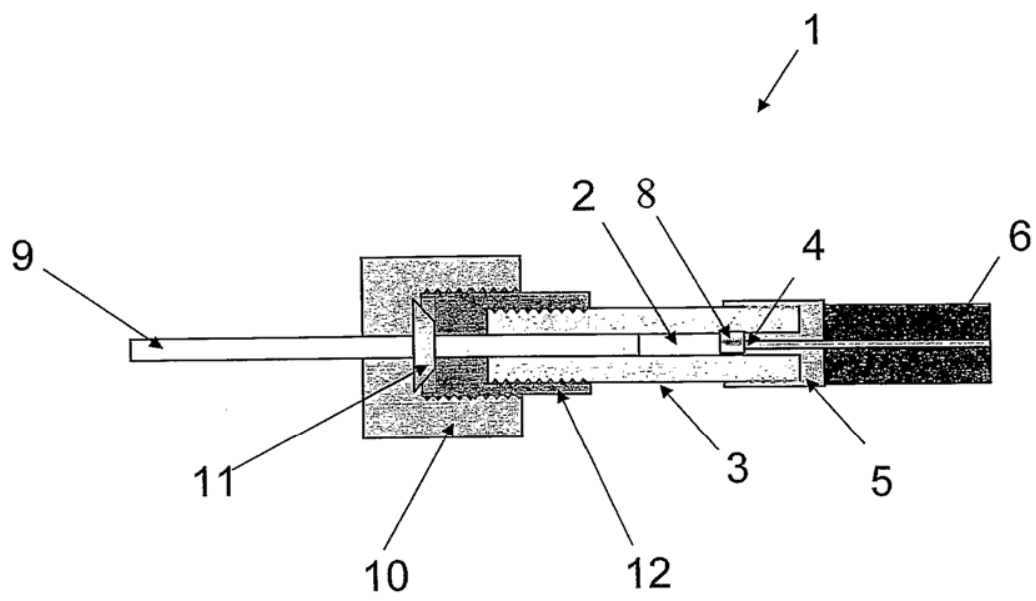


Figura 2

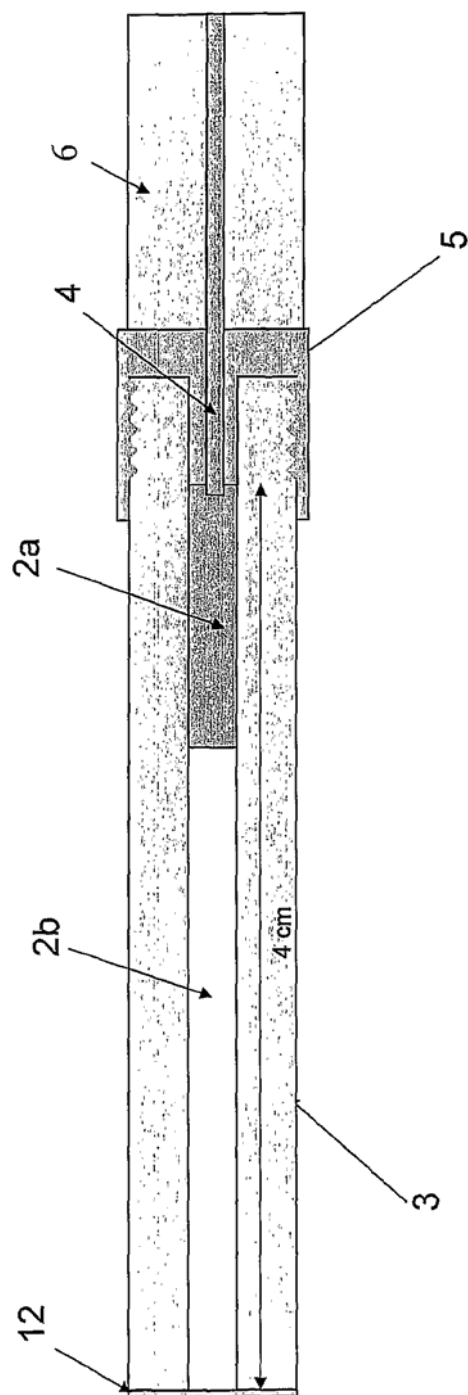


Figura 3

Figura 4

