

**DETONADOR ELECTRÓNICO INALÁMBRICO QUE COMPRENDE UN
CONMUTADOR DE ENCENDIDO DIRIGIDO POR UNA SEÑAL ÓPTICA,
SISTEMA DE DETONACIÓN INALÁMBRICO Y PROCEDIMIENTO DE
ACTIVACIÓN DE DICHO DETONADOR**

5

La presente invención se refiere a un detonador electrónico inalámbrico.

La invención también se refiere a un sistema de detonación inalámbrico y a un procedimiento de activación del detonador electrónico.

Por procedimiento de activación se entiende, en este caso, un encendido
10 o apagado del detonador electrónico, con independencia de su ignición.

La invención encuentra su aplicación en el campo de la iniciación
pirotécnica, en cualquier sector donde tradicionalmente se deba implementar
una red de uno o más detonadores. Ejemplos típicos de uso se refieren a la
explotación de minas, canteras, la exploración sísmica o el sector de la
15 construcción y de obras públicas.

Durante su uso, los detonadores electrónicos se instalan
respectivamente en lugares preparados para recibirlos y destinados a ser
cargados con explosivos. Estos lugares son, por ejemplo, agujeros perforados
en el suelo. La ignición de los detonadores electrónicos se realiza entonces
20 según una secuencia predeterminada.

Para lograr este resultado, se asocia individualmente un retardo de
ignición a cada detonador electrónico y se transmite una orden de disparo
común a la red de detonadores electrónicos con la ayuda de una consola de
control.

25 Esta orden de disparo común permite sincronizar la cuenta atrás del

retardo de ignición para el conjunto de los detonadores electrónicos.

A partir de la recepción de la orden de disparo, cada detonador electrónico gestiona la cuenta atrás del retardo de ignición específico asociado al mismo, así como su propia ignición.

5 Se conocen detonadores inalámbricos, activados por una consola de control a distancia configurada para comunicarse por ondas de radio con los detonadores, por ejemplo, para intercambiar con ellos órdenes o mensajes relativos a su estado, o para enviarles una orden de ignición. La independencia energética es, por lo tanto, una condición importante para la realización de un
10 detonador inalámbrico.

El documento WO 2019/073148 describe un detonador electrónico inalámbrico que comprende una fuente de energía y módulos funcionales, así como primeros medios de conmutación dispuestos entre la fuente de energía y los módulos funcionales, que permiten conectar o no la fuente de energía a los
15 módulos funcionales, y un módulo de control de los primeros medios de conmutación que comprende un módulo de recuperación de energía de radio configurado para recibir una señal de radio procedente de una consola de control, recuperar la energía eléctrica en dicha señal de radio recibida, generar una señal de recuperación de energía representativa del nivel de energía
20 eléctrica recuperada, y generar en la salida una señal de control en función de la energía recuperada, dicha señal de control que dirige dichos medios de conmutación.

Así, la consola de control envía una señal de radio al detonador. En el lado del detonador, el principio consiste en recuperar la energía presente en la
25 señal de radio con la ayuda de un sistema de recepción adaptado, es decir, el

módulo de recuperación de energía de radio, con el fin de dirigir un mecanismo de interruptor de encendido.

Esta solución ofrece las siguientes ventajas en particular:

- la activación no presenta elementos mecánicos que manipular, lo que permite diseñar una carcasa totalmente estanca para el detonador, resistente a las condiciones ambientales y a las manipulaciones y, de este modo, incrementar la fiabilidad del sistema;
- la activación del detonador solo puede ser realizada por una persona que disponga de la consola de control adecuada, limitando así la posibilidad de que sea activado por cualquier persona que no disponga el equipo necesario;
- el sistema es sencillo y rápido de utilizar: basta con acercarse a la consola de activación del detonador para alimentar de forma remota el sistema de interruptores y poner en marcha un autómata de control del detonador inalámbrico.

No obstante, este sistema presenta inconvenientes.

En particular, el alcance del sistema de detonación por radio es bastante limitado. En la práctica, no supera unas decenas de centímetros debido a las limitaciones de potencia de radio impuestas por la normativa, lo que supone un obstáculo para su fácil uso.

Además, no siempre es posible apuntar a un detonador concreto de forma inequívoca, sobre todo cuando hay varios detonadores cerca unos de otros. No obstante, esta discriminación es imprescindible, ya que se corre el riesgo de asociar un detonador inapropiado al plan de disparo, o de asignar un retardo de ignición erróneo a un detonador. Existen técnicas basadas en la

proximidad, la directividad de las antenas o la estimación de la distancia entre la consola de activación y el detonador, por ejemplo, las propuestas en el documento WO 2019/073148, pero ponerlas en práctica es complicado.

En este contexto, un objetivo de la presente invención es superar, al
5 menos en parte, los inconvenientes antes mencionados, pudiendo además dar lugar a otras ventajas.

Concretamente, el objeto de la presente invención es proporcionar una técnica de activación a distancia que ofrezca una solución más eficaz a los problemas mencionados anteriormente.

10 En particular, el objeto de la presente invención se refiere a un sistema de control de un interruptor, es decir, al mecanismo que permite activar o no el detonador.

A tal efecto, según un primer aspecto de la invención, se propone un detonador electrónico inalámbrico que comprende una fuente de energía
15 primaria y al menos un módulo funcional, un conmutador de encendido, dispuesto entre la fuente de energía primaria y el módulo funcional, configurado para conectar o desconectar el módulo funcional y la fuente de energía primaria, y un módulo de control del conmutador de encendido, caracterizado porque el módulo de control del conmutador de encendido comprende un
20 receptor óptico configurado para detectar y demodular una señal luminosa emitida por una consola de control y generar en la salida una señal de control en función de la señal luminosa demodulada, estando configurada la señal de control para dirigir al menos el conmutador de encendido.

De este modo, el detonador está configurado para recibir y demodular la
25 señal luminosa recibida desde la consola de control (también llamada consola

de activación remota).

Cuando la señal luminosa se demodula correctamente, se activa el conmutador de encendido y se encienden el resto de los componentes electrónicos del detonador.

- 5 La fuente de energía primaria está configurada para alimentar los otros elementos del detonador a través del conmutador de encendido.

Esta comprende, por ejemplo, una fuente de energía a bordo, o un módulo de recuperación de energía combinado con un almacenamiento de energía local, o un módulo de suministro de energía conectado por cable.

- 10 La fuente de energía primaria también está configurada, por ejemplo, para transferir energía a un elemento de almacenamiento de energía dedicado a disparar un iniciador explosivo del módulo funcional.

El conmutador de encendido puede ser similar a una de las realizaciones expuestas en el documento WO 2019/073148.

- 15 El conmutador de encendido comprende, por ejemplo, un interruptor.

Según la invención, el detonador comprende un módulo de control del conmutador de encendido, es decir, un módulo de control configurado para dirigir el conmutador de encendido.

- 20 Así, el módulo de control está configurado, por ejemplo, para recibir una orden de ignición y ordenar la ignición del iniciador explosivo de acuerdo con dicha orden ignición.

Para ello, el módulo de control comprende, principalmente, el receptor óptico.

- 25 En una realización preferida, el receptor óptico comprende un detector óptico configurado para detectar la señal luminosa emitida por la consola de

control y convertir la señal luminosa en una señal eléctrica.

Por ejemplo, el detector óptico comprende un fotodiodo, posiblemente combinado con una resistencia de detección.

En una realización preferida, el detonador comprende, además, un
5 demodulador configurado para demodular la señal eléctrica.

Según un ejemplo de realización, el demodulador comprende un acondicionador analógico configurado para transformar la señal eléctrica procedente del detector óptico, que es analógica, en una señal digital.

El acondicionador analógico comprende, por ejemplo, al menos un filtro
10 de paso alto, configurado para suprimir un componente estático del haz luminoso, o incluso un filtro de paso de banda.

Según un ejemplo de realización, el demodulador comprende un módulo de procesamiento digital configurado para demodular la señal digital, por ejemplo, con el fin de detectar la secuencia binaria emitida por la consola de
15 control, y generar una señal de control para dirigir el conmutador de encendido, por ejemplo, en función de la secuencia binaria.

El módulo de procesamiento digital comprende, por ejemplo, al menos un ordenador y, posiblemente, un elemento de memoria.

Un elemento de memoria designa, en este caso, tanto una memoria
20 convencional como un registro.

Por ejemplo, la señal recibida se correlaciona con una señal de referencia, por ejemplo, registrada en el elemento de memoria, para detectar una secuencia de activación.

En función del resultado de la correlación, el módulo de procesamiento
25 digital se configura para generar una señal de control del conmutador de

encendido.

En todos los casos, el receptor óptico presentado en este caso necesita ser alimentado.

Sin embargo, lo ideal es que el sistema de detonación consuma la menor cantidad de energía posible, para evitar reducir la autonomía del detonador antes de su uso sobre el terreno y preservar la mayor cantidad de energía posible de la fuente de energía primaria.

Por lo tanto, el consumo debe ser lo más bajo posible.

Los consumos del detector óptico y del módulo de procesamiento digital son los que deben reducirse con carácter prioritario, para aspirar a un consumo del sistema del orden de unos pocos microamperios, si es posible.

El detector óptico presenta generalmente un consumo que es directamente proporcional a la iluminación.

Según un primer ejemplo, el detonador comprende, de manera ventajosa, al menos un filtro óptico aguas arriba del detector óptico, con el fin de reducir la intensidad de la iluminación ambiental, sin reducir el rendimiento de detección.

Uno de los objetos es maximizar la potencia luminosa recibida correspondiente a la señal óptica, al tiempo que se minimiza la potencia recibida correspondiente a la iluminación ambiental.

Esto permite reducir la corriente consumida por el detector óptico debido a la intensidad de la iluminación ambiental.

Según un segundo ejemplo, el detector óptico comprende, de manera ventajosa, un elemento fotovoltaico.

El detector se utiliza entonces, en este caso, en modo fotovoltaico.

Para ello, por ejemplo, no está polarizado por una tensión de alimentación.

Un montaje de este tipo permite evitar, posiblemente por completo, el consumo del detector óptico.

5 De este modo, el consumo está muy bien regulado y es más independiente de las condiciones de iluminación del entorno.

Según un tercer ejemplo, el detonador comprende un modo de bajo consumo configurado para cortar la alimentación de al menos el módulo de procesamiento digital, lo que permite limitar el consumo eléctrico del sistema.

10 Así, por ejemplo, en condiciones de iluminación natural, la intensidad luminosa varía lentamente, por lo que no hay cambios en la salida del acondicionador analógico, por efecto del filtrado de paso alto.

En cuanto se produce un cambio brusco de iluminación, aparece una transición en la salida del acondicionador analógico, que se utiliza para hacer
15 reaccionar el módulo de procesamiento digital.

Esta funcionalidad normalmente puede implementarse mediante un modo de bajo consumo de un microcontrolador.

El consumo puede así reducirse a menos de un microamperio (1 μA).

Según un cuarto ejemplo, con el fin de evitar cualquier consumo residual
20 durante un periodo de almacenamiento del detonador, por ejemplo (que puede durar varios meses antes de su uso), se utiliza un corte de alimentación del receptor óptico dependiente del nivel de iluminación ("modo oscuridad").

El detonador comprende entonces, por ejemplo, un módulo de corte general configurado para cortar una alimentación del receptor óptico.

25 El módulo de corte general comprende, por ejemplo, un fototransistor de

alta ganancia (por ejemplo, 40 $\mu\text{A}/100\text{ Lux}$), posiblemente acoplado a una resistencia de detección configurada para detectar un nivel de iluminación muy bajo, normalmente inferior a 100 Lux, incluso 80 Lux, incluso 60 Lux, incluso 40 Lux, incluso 20 Lux, o incluso 1 Lux.

- 5 El detonador, o incluso el módulo de corte general, por ejemplo, también comprende, por ejemplo, un transistor, que actúa como interruptor, y la resistencia de detección se configura para dirigir el transistor.

De este modo, cuando el detonador está en la oscuridad, guardado en una caja, por ejemplo, la alimentación del receptor óptico se corta por
10 completo. Por lo tanto, el consumo es casi nulo (con la excepción de las corrientes de fuga del transistor y del fototransistor, que son despreciables).

Cuando se saca el detonador de la caja para utilizarlo, el módulo de corte general enciende el receptor óptico, quedando entonces el detonador a la espera de una activación óptica por parte del usuario (por medio de la consola
15 de control).

En este caso, el módulo funcional comprende, por ejemplo, al menos un iniciador explosivo.

Según un ejemplo interesante de realización, el módulo funcional también comprende un elemento de almacenamiento de energía dedicado a la
20 ignición del iniciador explosivo.

Por seguridad, el módulo funcional también comprende, de manera ventajosa, un conmutador de aislamiento del elemento de almacenamiento de energía configurado para activar o desactivar la transferencia de energía de la fuente de energía primaria al elemento de almacenamiento de energía.

25 También por seguridad, el módulo funcional puede asimismo

comprender un dispositivo de descarga, configurado para descargar lentamente el elemento de almacenamiento de energía con el fin de volver a un estado seguro en caso de apagado del detonador, por ejemplo.

5 Según una opción interesante, el módulo funcional puede comprender entonces también un conmutador de ignición configurado para permitir una transferencia de energía entre el elemento de almacenamiento de energía dedicado a la ignición y el iniciador explosivo.

Según una realización, el módulo funcional comprende, además, un ordenador configurado para dirigir el funcionamiento del detonador.

10 Por ejemplo, el ordenador se conecta o desconecta de la fuente de energía primaria por medio del conmutador de encendido.

Así, el ordenador está configurado, por ejemplo, para recibir una señal y ordenar una ignición del iniciador explosivo del módulo funcional de acuerdo con dicha señal.

15 Según otra opción interesante, el detonador está configurado para emitir una señal de retorno cuando el receptor óptico del detonador ha detectado al menos la señal luminosa emitida por la consola de control.

El usuario puede, por ejemplo, ser advertido de que la señal luminosa emitida por la consola de control ha sido al menos detectada por al menos el
20 detonador objetivo.

Así, el encendido del detonador se realiza por activación óptica.

Por ejemplo, el detonador está configurado para emitir una señal de retorno directamente perceptible por el usuario, por ejemplo, una señal visual o sonora.

25 Según otro ejemplo, el detonador está configurado para emitir una señal

de retorno configurada para ser captada en consecuencia por la consola de control, por ejemplo, una señal de radio.

Dicho detonador presenta al menos las mismas ventajas que el estado de la técnica citado anteriormente, en particular:

- 5 - en términos de fiabilidad: permite realizar una carcasa estanca y prescindir de todo elemento mecánico, se limitan o incluso se evitan los riesgos de falso contacto, etc.
- en términos de seguridad: es necesario disponer de la consola de control (que comprende la fuente luminosa) adecuada para activar el
10 detonador,
- o en términos de facilidad y rapidez de implementación: no es necesario conectar una consola de control física y eléctricamente al detonador para activarlo y la activación se realiza sin contacto.

Además, un detonador de este tipo presenta también al menos la ventaja
15 de facilitar un modo de funcionamiento simplificado gracias al alcance de la activación remota: por ejemplo, no es necesario utilizar un accesorio para activar un detonador, por ejemplo, una pértiga para activar un detonador en el suelo sin necesidad de agacharse, o una cesta para activar un detonador colocado en lo alto de una galería subterránea.

20 También se propone, según un segundo aspecto de la invención, un sistema de detonación inalámbrico que comprende un detonador electrónico inalámbrico, que presenta al menos algunas de las características anteriormente mencionadas, y una consola de control configurada para emitir una señal luminosa destinada a dicho detonador electrónico inalámbrico.

25 En la práctica, un usuario orienta entonces la señal luminosa en

dirección al detonador que desea activar.

El sistema de detonación inalámbrico presenta características y ventajas similares a las descritas anteriormente en relación con el detonador electrónico inalámbrico.

5 Además, un detonador de este tipo asociado con una consola de control correspondiente presenta también al menos las siguientes ventajas:

- En términos de alcance: se aumenta el alcance, permitiendo en la práctica activar el detonador a varios metros de distancia, según la luminosidad ambiental y la potencia de la fuente luminosa.

10 - En términos de normativa: el sistema no está sujeto a una normativa restrictiva como la del sistema de activación por radio expuesto en el estado de la técnica, lo que permite desarrollar un sistema más eficiente.

- En términos de seguridad: la consola de control permite apuntar con precisión al detonador deseado, y el direccionamiento del haz luminoso puede ser perfectamente visible para el usuario si la señal se emite en el rango visible, evitando así toda ambigüedad.

15 - En términos de flexibilidad: el sistema puede adaptarse a casos de uso diferentes al habitual. En efecto, es posible una activación simultánea de un grupo de detonadores, utilizando una distancia focal más amplia que permita iluminar varios detonadores. Esta técnica puede resultar beneficiosa en un contexto subterráneo, o cuando ya se ha establecido el plan de disparo y el objetivo es activar muy rápidamente una pluralidad de detonadores.

En una realización particularmente conveniente, la consola de control comprende una fuente de luz, configurada para emitir la señal luminosa.

25 La fuente de luz está configurada, preferiblemente, para emitir una señal

luminosa en el rango visible, es decir, una señal luminosa con una longitud de onda comprendida entre aproximadamente 400 y 800 nm.

Sin embargo, la señal luminosa también puede emitirse en el rango infrarrojo (IR) o ultravioleta (UV) según las necesidades de la aplicación.

5 Las técnicas utilizadas son idénticas.

En comparación con el rango visible, una señal luminosa emitida en el rango IR o UV no es perceptible (visible) para el usuario, lo que puede hacer que el sistema de detonación sea menos fácil de utilizar, especialmente para apuntar a un detonador específico.

10 Para superar esta dificultad, el sistema de detonación comprende entonces, de manera ventajosa, un sistema de ayuda para apuntar.

Sin embargo, un sistema de ayuda para apuntar también puede resultar útil cuando se utiliza una señal en el rango visible.

15 Por ejemplo, según la potencia del haz óptico o si la luminosidad ambiental es alta, es posible que la señal luminosa sea menos perceptible.

Esto hace que apuntar a un detonador resulte más difícil para el usuario.

En un ejemplo práctico, la consola de control comprende un detector configurado para detectar la señal de retorno emitida por el detonador.

20 Según una opción interesante, la consola de control comprende, además, un dispositivo de advertencia configurado para emitir una señal de aviso, por ejemplo, visual o sonora, que permite advertir al usuario de que la señal luminosa emitida por la fuente de luz ha sido al menos detectada por al menos el detonador objetivo, o indicar que la señal de retorno ha sido detectada por la consola de control.

25 La consola de control comprende entonces, por ejemplo, un LED o un

zumbador.

Una configuración tal del sistema de detonación forma entonces un sistema de ayuda para apuntar.

El detonador se configura entonces, por ejemplo, para emitir un retorno
5 cuando es iluminado por el haz de la consola de control.

Así, en un ejemplo interesante de realización, la consola de control está configurada para emitir una señal luminosa de forma continua, bien durante un periodo de tiempo predeterminado o a petición del usuario.

El usuario ilumina la zona en la que se encuentra el detonador, o más
10 particularmente, el receptor óptico del detonador, con un movimiento de barrido.

Cuando el detonador detecta la secuencia luminosa esperada, el detonador activa una simple respuesta visual, por ejemplo, mediante un LED, o sonora, por ejemplo, mediante un zumbador.

Según otra opción interesante, la consola de control comprende también
15 una distancia focal configurada para enfocar la señal luminosa hacia al menos un detonador.

La distancia focal designa, en este caso, una distancia focal óptica, llamada ajustable o variable.

20 El uso de tal distancia focal permite una mayor flexibilidad del sistema.

Por ejemplo, es posible entonces la activación simultánea de un grupo de detonadores, utilizando una distancia focal más amplia que permita iluminar varios detonadores.

Esta técnica puede resultar beneficiosa en un contexto subterráneo, o
25 cuando ya se ha establecido el plan de disparo y el objetivo es activar muy

rápidamente varios o todos los detonadores.

En términos de seguridad, la distancia focal utilizada en la consola de control permite apuntar con precisión al detonador o detonadores deseado(s).

En otra realización, la consola de control comprende, además, un
5 modulador configurado para modular la señal luminosa según al menos un patrón de modulación.

Así, la señal luminosa puede modularse con un patrón de modulación que permita distinguirla de la iluminación ambiental, natural o artificial, con el fin de evitar que el detonador se active de forma inesperada.

10 Así, de manera ventajosa, la señal luminosa modulada comprende al menos una secuencia de activación.

Una ventaja del sistema de detonación que utiliza una modulación óptica es que es posible utilizar la señal modulada para enviar datos digitales útiles al detonador.

15 Permite, por ejemplo:

- Transferir directamente el retardo de ignición al detonador durante su activación por vía óptica.
- Proporcionar el identificador de la consola desde la que se activó el detonador o el identificador de la consola de ignición que va a utilizarse, lo
20 que permite que varios equipos desplieguen, de forma simultánea, redes de detonadores en la misma zona.
- Proporcionar un código de ignición específico para el detonador, lo que permite evitar disparos accidentales de detonadores que no dispongan del código especificado.

25 Así, por ejemplo, la señal luminosa modulada comprende una secuencia

de datos configurada para enviar instrucciones al detonador, por ejemplo, un valor de retardo, y/o un identificador, y/o un código de ignición, u otros.

La secuencia de datos se transmite después de la secuencia de activación en la señal luminosa.

- 5 Además, en el caso de un haz luminoso emitido en el rango visible, el detonador objetivo es identificado visualmente por el usuario y la información difícilmente puede ser interceptada o codificada, lo que hace que el sistema sea más seguro.

- 10 Según otra opción interesante, la señal luminosa modulada comprende una señal de parada.

Con el fin de cumplir la misma función que un interruptor manual, el sistema de detonación que utiliza la modulación óptica permite, de preferencia, desactivar un detonador.

- 15 Esto ofrece un nivel adicional de seguridad, en el caso, por ejemplo, de que se decida abandonar el disparo, o simplemente para detener un detonador que se haya encendido por error.

Para hacer uso de esta función de parada, pueden utilizarse dos secuencias diferentes: una secuencia para el encendido y otra secuencia para el apagado.

- 20 En consecuencia, la consola de control comprende, por ejemplo, un módulo de selección, configurado para permitir que el usuario seleccione una secuencia u otra (es decir, una secuencia de activación o una secuencia de parada).

- 25 Por último, según un tercer aspecto, se propone un procedimiento de activación de un detonador electrónico inalámbrico que comprende una fuente

de energía primaria, al menos un módulo funcional, un conmutador de encendido, dispuesto entre la fuente de energía primaria y el módulo funcional, configurado para conectar o desconectar el módulo funcional y la fuente de energía primaria, y un módulo de control del conmutador de encendido.

- 5 Según la invención, el procedimiento comprende las siguientes etapas:
- Recepción de una señal luminosa;
 - Demodulación de la señal luminosa recibida;
 - Generación de una señal de control, de acuerdo con la señal luminosa demodulada, estando configurada la señal de control para dirigir al
- 10 menos el conmutador de encendido.

Así, el módulo funcional del detonador electrónico se activa, o se enciende, por medio del conmutador de encendido, dispuesto entre la fuente de energía primaria y el módulo funcional, que es controlado por una señal de control generada cuando la señal luminosa demodulada corresponde al menos

15 a las instrucciones de activación del detonador electrónico.

El procedimiento de activación presenta características y ventajas similares a las descritas anteriormente en relación con el detonador electrónico inalámbrico y el sistema de detonación inalámbrico.

Según una realización ventajosa, la etapa de recepción de una señal luminosa comprende una etapa de detección de una señal luminosa y una

20 etapa de conversión de la señal luminosa en una señal eléctrica.

Según una realización ventajosa, la etapa de demodulación comprende una etapa de transformación de la señal eléctrica en una señal digital y una etapa de identificación de al menos una secuencia de activación en la señal

25 digital.

Si se identifica una secuencia de activación, la etapa de generación de una señal de control comprende una etapa de activación del conmutador de encendido.

Por ejemplo, si la señal digital corresponde a una señal de referencia
5 que comprende al menos una secuencia de activación, el conmutador de encendido se activa.

Por activación se entiende, en este caso, el encendido o el apagado del detonador electrónico, con independencia de su ignición, es decir, de su manejo.

10 Según una opción interesante, la etapa de demodulación comprende, además, una etapa de identificación de al menos una secuencia de datos en la señal digital.

Si se identifica una secuencia de datos, la etapa de generación de una señal de control comprende una etapa de generación de instrucciones
15 correspondientes a la secuencia de datos.

Por ejemplo, una vez que se enciende un detonador electrónico, se le puede asociar un retardo para la ignición.

Esta asociación puede llevarse a cabo inmediatamente o después de un periodo de tiempo tras el encendido.

20 Según diferentes realizaciones, el encendido y la asociación del retardo pueden realizarse con la misma consola de control o con diferentes consolas de control.

Así, el despliegue de detonadores electrónicos puede realizarse de diferentes formas.

25 En caso de asociación del retardo con diferentes consolas de control

para el encendido y la asociación de retardo, el encendido puede realizarse en el momento de la instalación, y la asociación de retardo puede realizarse en un momento posterior, una vez que todos los detonadores han sido encendidos.

En caso de asociación diferida del retardo, todos los detonadores electrónicos se encienden primero en el momento de su instalación mediante la consola de control. A continuación, los detonadores electrónicos pueden ponerse en estado de reposo o espera con un procedimiento de activación periódica. Una vez que todos los detonadores electrónicos están instalados y encendidos, se asocian retardos con todos los detonadores electrónicos. Para ello, los detonadores electrónicos pueden estar equipados con cualquier sistema de localización (por ejemplo, un GPS, un sistema de medición de distancias relativas o potencias recibidas entre cada detonador electrónico de la red, que posiblemente requiera una etapa de procesamiento posterior, etc.). Los datos brutos relativos a cada detonador electrónico (por ejemplo, la posición absoluta, las distancias relativas o las potencias recibidas, etc.) se recopilan, por ejemplo, por radio con la consola de control, con el fin de elaborar un mapa de la red de detonadores electrónicos con sus identificadores. Conociendo este mapa, es posible asociar un retardo a cada detonador electrónico.

Si se observa una incoherencia entre un plan de disparo planificado y el mapa real de los detonadores electrónicos, esta puede detectarse, lo que permite apagar los detonadores que presenten tal incoherencia.

Cuando el encendido y la asociación del retardo se realizan con diferentes consolas de control, estas dos operaciones se llevan a cabo en momentos distantes en el tiempo, que van desde unos pocos minutos hasta

varias horas, o incluso varios días, según el caso. Pueden considerarse condiciones de desactivación en el ínterin para permitir que el detonador electrónico vuelva a un estado de apagado. Por ejemplo, en caso de no solicitarse mediante señal luminosa transcurrido un tiempo determinado, o de
5 no intercambiarse o recibirse mensajes con la consola de control durante las operaciones de activación periódica del detonador electrónico, el módulo de procesamiento digital puede apagar el detonador electrónico.

Al final, cada uno de estos enfoques termina con la ejecución de un procedimiento de ignición convencional.

10 La invención, según una realización, se entenderá bien y sus ventajas resultarán más evidentes tras la lectura de la siguiente descripción detallada, que se facilita a título indicativo y no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

[Fig. 1] La figura 1 muestra esquemáticamente un sistema de detonación
15 según una realización de la invención;

[Fig. 2] la figura 2 representa un ejemplo de una secuencia pseudoaleatoria siguiendo un patrón de modulación;

[Fig. 3] la figura 3 representa un detonador inalámbrico según una realización de la invención;

20 [Fig. 4] la figura 4 muestra una realización de un receptor óptico;

[Fig. 5] la figura 5 ilustra una primera realización de un receptor óptico;

[Fig. 6] la figura 6 representa de forma esquemática un ejemplo del espectro de emisión de una fuente luminosa basada en LED en función de la longitud de onda;

25 [Fig. 7] la figura 7 representa de forma esquemática la sensibilidad

espectral de un fotodiodo en función de la longitud de onda;

[Fig. 8] la figura 8 representa las características espectrales de un filtro resultante del espectro de emisión de la figura 6 y de la sensibilidad del fotodiodo de la figura 7 en función de la longitud de onda;

5 [Fig. 9] la figura 9 ilustra una segunda realización de un receptor óptico;

[Fig. 10] la figura 10 ilustra una tercera realización de un receptor óptico.

Los elementos idénticos que se muestran en las figuras anteriormente mencionadas se identifican con referencias numéricas idénticas.

Según una realización de un aspecto de la invención que se muestra
10 esquemáticamente en la figura 1, un sistema de detonación 10 comprende principalmente:

- una consola de control 100 configurada para emitir una señal luminosa modulada LU, y
- un detonador 200, autónomo energéticamente, configurado para
15 detectar y demodular la señal luminosa LU de la consola de control 100.

Según una realización, la consola de control 100 comprende una fuente luminosa modulada.

Como se muestra esquemáticamente en la figura 1, la consola de control 100 comprende, por ejemplo, una fuente de luz 110 configurada para emitir un
20 haz luminoso que comprende una señal luminosa y un modulador 120 configurado para modular la señal luminosa según al menos un patrón de modulación.

La fuente de luz 110 está preferiblemente configurada para emitir una señal luminosa en el rango visible, es decir, una señal luminosa con una
25 longitud de onda comprendida entre aproximadamente 400 y 800 nm.

Sin embargo, puede utilizarse una fuente de luz configurada para emitir una señal en el rango infrarrojo o ultravioleta, según las necesidades o la aplicación prevista.

Según una opción no mostrada, la consola de control puede
5 comprender, además, una distancia focal variable, también llamada ajustable, configurada para enfocar la señal luminosa hacia uno o más detonadores.

La consola de control puede entonces activar un solo detonador, por ejemplo, si la distancia focal se ajusta para transmitir un haz estrecho, o activar simultáneamente un grupo de detonadores, si la distancia focal se ajusta para
10 transmitir un haz más amplio que permita iluminar varios detonadores.

Según una opción interesante, el detonador está configurado para emitir una señal de retorno cuando es iluminado por el haz de la consola de control.

El detonador comprende, por ejemplo, un dispositivo de advertencia visual o sonoro.

15 El detonador también puede estar configurado para emitir una señal de retorno configurada para ser captada en consecuencia por la consola de control, por ejemplo, una señal de radio.

Según al menos otra opción interesante, la consola de control 100 puede comprender también un detector, configurado para detectar una señal de
20 retorno emitida por el detonador, y un dispositivo de advertencia, por ejemplo, visual o sonoro, configurado para advertir al usuario de que la señal luminosa emitida por la fuente de luz 110 ha sido al menos detectada por al menos el detonador objetivo, o que la señal de retorno ha sido detectada por la consola de control.

25 El dispositivo de advertencia, bien de la consola de control o del

detonador, comprende, por ejemplo, un LED o un zumbador.

El sistema de detonación está equipado entonces con un sistema de ayuda para apuntar.

La consola de control emite, preferiblemente, la secuencia luminosa de
5 forma continua, bien durante un periodo de tiempo predeterminado o a petición del usuario.

El usuario ilumina la zona en la que se encuentra el detonador 200, o más particularmente, un receptor óptico 220 del detonador 200 (descrito a continuación), con un movimiento de barrido.

10 Cuando el detonador detecta la secuencia luminosa esperada, el detonador activa una simple respuesta visual, por ejemplo, mediante un LED, o sonora, por ejemplo, mediante un zumbador.

La figura 2 representa un ejemplo de patrón de modulación M utilizado para modular la señal luminosa LU emitida por la consola de control 100.

15 En particular, esta figura muestra una secuencia pseudoaleatoria de modulación OOK (*On/Off Keying*), pero pueden contemplarse otros tipos de modulaciones ópticas.

Una modulación de tipo OOK presenta la ventaja de ser sencilla de implementar y poco compleja de demodular, lo que permite limitar el coste del
20 detonador.

Preferiblemente, se utiliza una secuencia pseudoaleatoria conocida por el receptor para modular la señal óptica emitida por la consola, con el fin de poder distinguirla con el mínimo error posible de la luz natural o artificial (en efecto, ciertas iluminaciones artificiales presentan un señal entrecortada en
25 forma de almena).

El tamaño de la secuencia pseudoaleatoria debe ser lo suficientemente largo, normalmente superior a 32 bits, con el fin de evitar falsas alarmas.

De preferencia, la velocidad (frecuencia) de modulación está normalmente comprendida entre 100 Hz y 10 kHz.

5 Este valor es suficiente para no ser demasiado sensible a los movimientos del usuario, y no es demasiado elevado para poder limitar el coste del receptor 220 utilizando, por ejemplo, un fotodiodo 231 (mostrado esquemáticamente en la figura 5) de rendimiento limitado.

Este ejemplo no es limitativo. Podrían utilizarse otros tipos de
10 modulación, otros tipos de secuencias y otras velocidades de modulación.

Otra ventaja del sistema de modulación óptica es poder utilizar la señal luminosa modulada para transmitir información, es decir, datos digitales, útiles para el detonador, por la vía óptica.

Para ello, en la consola de control, la señal luminosa modulada LU
15 comprende, preferiblemente, por ejemplo, una secuencia de activación que presenta buenas propiedades de autocorrelación, normalmente una secuencia de Kasami.

Esto permite que el receptor, es decir, el detonador, se sincronice correctamente con la señal recibida con el fin de extraer los datos.

20 La secuencia de datos comprende, por ejemplo, datos binarios que simplemente se concatenan siguiendo la secuencia de activación.

El mensaje enviado por la consola de control comprende, por ejemplo, las siguientes secuencias: [secuencia de activación] - [secuencia de datos].

La secuencia de datos está configurada para enviar, por ejemplo, un
25 valor de retardo, y/o un identificador, y/o un código de ignición, u otros.

Según un ejemplo, de manera opcional, puede añadirse al mensaje una verificación de integridad de tipo CRC (*Cyclic Redundancy Check*), con el fin de poder verificar el resultado de la demodulación de la secuencia de datos en el detonador (es decir, el receptor).

- 5 El mensaje enviado por la consola de control comprende entonces, por ejemplo, las siguientes secuencias: [secuencia de activación] - [secuencia de datos] - [secuencia de verificación].

Según otro ejemplo, también sería posible añadir un código corrector.

- 10 El mensaje enviado por la consola de control comprende entonces, por ejemplo, las siguientes secuencias: [secuencia de activación] - [secuencia de datos] - [secuencia de verificación] - [secuencia de corrección].

Así, según un ejemplo de implementación, es posible utilizar un código de bloques de tipo “Hamming”, que comprende una secuencia de datos y una secuencia de corrección.

- 15 En el lado del receptor, es decir, en el lado del detonador, pueden utilizarse técnicas de demodulación digital convencionales.

La secuencia de activación permite sincronizar el receptor con el inicio del mensaje enviado.

- 20 A continuación, un simple muestreo regular, o una detección de bordes, permite demodular el contenido del mensaje.

Según otra opción interesante, la señal luminosa modulada LU comprende una señal de parada.

- 25 Con el fin de cumplir la misma función que un interruptor manual, el sistema de detonación que utiliza la modulación óptica permite, de preferencia, desactivar un detonador.

Esto ofrece un nivel adicional de seguridad, en el caso, por ejemplo, de que se decida abandonar el disparo o simplemente para detener un detonador que se haya encendido por error.

Para utilizar esta función de parada, pueden utilizarse dos secuencias
5 diferentes: una secuencia para el encendido y otra secuencia para el apagado.

Las dos secuencias son, preferiblemente, casi ortogonales, con el fin de limitar los riesgos de detección errónea de la secuencia emitida.

Por ejemplo, dos secuencias de Kasami diferentes pueden cumplir esta condición.

10 Una variante puede consistir en utilizar el signo de la secuencia: emitida normalmente, la secuencia conduce a un pico de correlación positiva para el arranque, pero emitida a la inversa, proporciona un pico de correlación negativa, por ejemplo, para la parada.

Al final, solo es necesario un correlacionador, y solo el signo del
15 resultado marca la diferencia.

Sin embargo, se prefieren las secuencias de Kasami porque proporcionan un resultado cercano a 0 para una intercorrelación, con independencia del desplazamiento entre las secuencias.

En consecuencia, la consola de control debe permitir al usuario
20 seleccionar una secuencia u otra (es decir, una secuencia de activación o una secuencia de parada).

A nivel del receptor, un módulo de procesamiento digital del receptor óptico del detonador (descrito a continuación) está configurado, por ejemplo, para detectar una secuencia u otra. Las operaciones de correlación se
25 duplican, por ejemplo, utilizando, de forma alterna, una secuencia y luego la

otra como secuencia de referencia.

La figura 3 muestra una realización de un detonador 200.

El detonador 200 según la invención, que es autónomo energéticamente, comprende principalmente, en este caso, un módulo de control 210 que incluye
5 un receptor óptico 220 configurado para activar el detonador por vía óptica.

El receptor óptico 220 permite, en particular, demodular el haz luminoso LU enviado por la consola 100 y generar una señal de control del conmutador de encendido 240.

Además, el detonador 200 comprende, por ejemplo, en este caso, los
10 siguientes elementos:

- Una fuente de energía primaria 230 (por ejemplo, una fuente de energía a bordo, o un módulo de recuperación de energía combinado con un almacenamiento de energía local, o un módulo de suministro de energía conectado por cable), que permite alimentar los diferentes elementos del
15 detonador a través de un conmutador de encendido 240 y transferir energía a un elemento de almacenamiento de energía 253 dedicado a la ignición de un iniciador explosivo 256.

- El conmutador de encendido 240, que comprende, por ejemplo, un interruptor K10, que permite regular el encendido de diferentes elementos
20 electrónicos de un módulo funcional 250 a partir de la fuente de energía primaria 230. Este conmutador de encendido 240 puede ser similar a una de las realizaciones expuestas en el documento WO 2019/073148.

- Y el módulo funcional 250.

El módulo funcional 250 comprende, en este caso, por ejemplo, los
25 siguientes elementos electrónicos:

- Un ordenador 251 que permite dirigir el funcionamiento del detonador electrónico. El ordenador 251 se conecta o desconecta de la fuente de energía primaria 230 por medio del conmutador de encendido 240.

- El elemento de almacenamiento de energía 253 dedicado a la
5 ignición del iniciador explosivo 256.

- Un conmutador de aislamiento 252 del elemento de almacenamiento de energía, que comprende, por ejemplo, un interruptor K20, que permite activar o desactivar la transferencia de energía de la fuente de energía primaria 230 al elemento de almacenamiento de energía 253, con
10 independencia de la transferencia de energía de la fuente de energía primaria 230 al ordenador 251.

- Un dispositivo de descarga 254, que forma un mecanismo de seguridad que permite una descarga lenta del elemento de almacenamiento de energía 253 dedicado a la ignición, con el fin de volver a un estado seguro en
15 caso de desactivación.

- Un conmutador de ignición 255 que comprende, por ejemplo, un interruptor K30, que permite la transferencia de energía entre el elemento de almacenamiento de energía 253 dedicado a la ignición y el iniciador explosivo 256.

- Y el iniciador explosivo 256.

El receptor óptico 220 según un ejemplo de realización se muestra esquemáticamente en la figura 4.

El receptor óptico 220 de la figura 4 comprende principalmente:

- un detector óptico 221, configurado para convertir la señal
25 luminosa LU recibida en una señal eléctrica; y

- un demodulador 222 configurado para demodular la señal luminosa recibida y generar una señal de control del conmutador de encendido 240.

En este caso; el demodulador 222 comprende, por ejemplo:

- 5 - un acondicionador analógico 223, configurado para transformar la señal eléctrica del detector óptico 221, que es analógica, en una señal digital; y
- un módulo de procesamiento digital 224, configurado para demodular la señal digital con el fin de detectar la secuencia binaria emitida por la consola de control 100 y generar una señal de control para dirigir al menos el
- 10 conmutador de encendido 240 de acuerdo con la secuencia binaria.

En este caso, el módulo de procesamiento digital 224 y/o el ordenador 251 están configurados, por ejemplo, para:

- gestionar el funcionamiento del detonador electrónico 200;
- analizar los mensajes recibidos a través de la consola de control
- 15 100;
- actuar de acuerdo con el significado de los mensajes recibidos;
- activar el almacenamiento de energía en el elemento de almacenamiento de energía 253 para la ignición;
- realizar la cuenta atrás del retardo de ignición asociada al
- 20 detonador electrónico 200;
- activar la transferencia de energía del elemento de almacenamiento de energía 253 al iniciador explosivo 24 al final de la cuenta atrás, por medio del conmutador de ignición 255;
- activar el dispositivo de descarga 254;
- 25 - dirigir el conmutador de encendido 240;

- dirigir el conmutador de aislamiento del elemento de almacenamiento de energía 252...

La figura 5 representa una realización del receptor óptico 220 que se muestra esquemáticamente en la figura 4.

5 El detector óptico 221 comprende, en este caso, un fotodiodo 231 que convierte la señal luminosa LU en corriente eléctrica.

El detector óptico 221 comprende también en este caso una resistencia de detección 232 que permite procesar una tensión que puede ser aprovechada por el acondicionador analógico 223.

10 La resistencia de detección 232 está dimensionada de forma que la señal no se sature en condiciones de fuerte luminosidad, lo que haría inoperante el sistema. Por el contrario, un valor demasiado bajo reduce la dinámica de la señal eléctrica, lo que implica una disminución del alcance del sistema de detonación.

15 Suponiendo una iluminación máxima posible de E_{max} (normalmente de 130.000 Lux), una sensibilidad del fotodiodo 231 de S A/Lux, y una tensión de alimentación V_{dd} , la resistencia de detección 232, de la resistencia indicada como R , debe verificar la relación $V_{dd} = R \times S \times E_{max}$, para estar en el límite de saturación en condiciones de máxima iluminación.

20 Por lo tanto, el dimensionamiento del par [fotodiodo 231 - resistencia de detección 232] determina en gran medida el rendimiento del sistema en términos de alcance.

El acondicionador analógico 223 comprende, en este caso, al menos un filtro de paso alto, con el fin de suprimir el componente estático vinculado a la
25 iluminación natural y a los movimientos del usuario.

Puede comprender un filtro de paso de banda (que corresponde entonces a un filtro de paso alto combinado con un filtro de paso bajo) para suprimir igualmente las posibles interferencias de alta frecuencia.

En el ejemplo de implementación representado en la figura 5, el acondicionador analógico 223 comprende un filtro de paso de banda (un par R_1C_1 (resistencia-capacidad) en una rama "+" (más) de un comparador 233 determina la alta frecuencia y un par R_2C_2 en una rama "-" (menos), la baja frecuencia) que permite suprimir el componente estático de la señal, vinculado a la iluminación ambiental.

Las señales filtradas se inyectan en el comparador 233 para obtener una señal binaria en la salida del comparador 233 y, por lo tanto, en la salida del acondicionador analógico 223.

El acondicionador analógico 223 comprende, por ejemplo, un comparador y/o un amplificador operacional.

Por último, el módulo de procesamiento digital 224, en el que se inyecta la señal digital, comprende, por ejemplo, al menos un ordenador (normalmente un microcontrolador o un circuito digital dedicado) y, posiblemente, un elemento de memoria.

La señal recibida se correlaciona con la señal de referencia esperada para detectar la presencia de una señal de activación.

La señal de referencia esperada puede estar previamente registrada en el módulo de procesamiento digital 224.

A este nivel, puede utilizarse cualquier técnica conocida de demodulación de una señal digital.

Cuando se detecta la secuencia de activación, el módulo de

procesamiento digital 224 genera una señal de control configurada para dirigir el conmutador de encendido 240 a la posición activa, por ejemplo, a la posición cerrada si se trata de un interruptor, con el fin de activar los otros elementos del detonador.

5 Sin embargo, estas funcionalidades pueden implementarse de manera diferente a la realización que se muestra esquemáticamente en la figura 5.

Por ejemplo, con el fin de compartir los recursos de hardware, es posible, por ejemplo, realizar el procesamiento digital en el ordenador 251 del módulo funcional 250. La arquitectura general debe entonces revisarse
10 ligeramente, para montar el ordenador 251 aguas arriba del conmutador de encendido 240.

En otras palabras, el ordenador 251 del módulo funcional 250 y el módulo de procesamiento digital 224 pueden entonces agruparse en una sola entidad, preferiblemente situada aguas arriba del conmutador de encendido
15 240, por ejemplo, en el receptor óptico 220.

Además, una parte del ordenador puede permanecer "inactiva" (en modo de bajo consumo), mientras no se haya recibido la secuencia luminosa.

También es posible utilizar otras estrategias para demodular la señal luminosa, lo que conduce a una arquitectura de hardware diferente del receptor
20 óptico 220. Por ejemplo, el acondicionador analógico 223 podría ser sustituido por una digitalización con ayuda de un CAN (convertor analógico digital) de la señal bruta procedente del detector óptico, que, a continuación, puede ser procesada directamente por el ordenador del módulo de procesamiento digital 224.

25 En todos los casos, el receptor óptico presentado necesita ser

alimentado.

Sin embargo, lo ideal es que el sistema de detonación consuma la menor cantidad de energía posible, para evitar reducir la autonomía del detonador antes de su uso sobre el terreno.

- 5 Por lo tanto, el consumo debe ser lo más bajo posible para que el sistema cuente con el mayor interés práctico posible.

El detector óptico 220 presenta generalmente un consumo que es directamente proporcional a la iluminación.

- 10 Normalmente, para un fotodiodo con una sensibilidad de 40 nA/100 Lux, el consumo es de 52 μ A en condiciones de iluminación máxima de 130.000 Lux.

El consumo del acondicionador analógico 223 se sitúa normalmente entre 1 μ A y 30 μ A en función del comparador o del amplificador operacional utilizado.

- 15 La elección de un comparador 233 con un producto [ganancia x ancho de banda] reducido permite seleccionar componentes cuyo consumo se sitúa en torno a un microamperio (μ A).

Esto va en detrimento de la velocidad de modulación permitida, pero no es un elemento crítico del sistema.

- 20 Por último, el módulo de procesamiento digital 224 normalmente consume varios miliamperios cuando se realiza el procesamiento.

Los consumos del detector óptico 221 y del módulo de procesamiento digital 224 son, por lo tanto, los que deben reducirse con carácter prioritario, para aspirar a consumos del orden de unos pocos microamperios, si es posible.

- 25 Un primer enfoque consiste entonces, por ejemplo, en añadir un filtro

óptico delante del fotodiodo 231 del detector óptico 221, con el fin de reducir la intensidad de la iluminación ambiental, sin reducir el rendimiento de detección.

Un objeto es maximizar la potencia luminosa recibida correspondiente a la señal óptica, al tiempo que se minimiza la potencia recibida correspondiente a la iluminación ambiental.

Esto permite reducir la corriente consumida por el detector óptico debido a la intensidad de la iluminación ambiental.

La fuente luminosa de la consola de control 100 presenta un espectro de emisión muy particular (Fig. 6), y el fotodiodo 231 tiene una sensibilidad espectral característica (Fig. 7).

Estos dos elementos se comportan, por lo tanto, como etapas de filtrado de ganancia $G_{tx}(\lambda)$ y $G_{rx}(\lambda)$, dependiendo de la longitud de onda λ de la señal luminosa emitida por la consola de control 100.

La potencia óptica P_{rx} convertida por el fotodiodo 231 en potencia eléctrica se expresa, por lo tanto, en función de la potencia P_{tx} emitida por la consola, de la atenuación vinculada a la distancia R , del ángulo sólido iluminado Ω , y de las respectivas ganancias G_{tx} y G_{rx} , según la siguiente fórmula:

$$P_{rx} = [(G_{rx}.G_{tx}) / \Omega R^2].P_{tx}$$

Para una distancia y una distancia focal determinadas, la potencia recibida es máxima cuando la ganancia ($G_{tx}.G_{rx}$) es máxima, es decir, para una longitud de onda λ determinada (Fig. 8).

La adición de un filtro adicional alrededor de esta longitud de onda permite así maximizar la recepción en esta longitud de onda y reducir la recepción en las otras longitudes de onda, lo que corresponde al objeto

pretendido.

A continuación, se calcula el ancho óptimo del filtro óptico en función de la respuesta del filtro con respecto a la luz natural, que se desea reducir.

En la práctica, es posible reducir el consumo del detector óptico en un
5 factor de 3.

Un segundo enfoque consiste, por ejemplo, en utilizar el efecto fotovoltaico de un fotodetector 234 para el detector óptico 221.

El fotodetector 234 se utiliza, en este caso, en modo fotovoltaico, tal como en el montaje mostrado esquemáticamente en la figura 9.

10 Para ello, no está polarizado por una tensión de alimentación.

Un fotodiodo como el del ejemplo anterior no permite generar una corriente suficiente para ser aprovechada. Es necesario aumentar la superficie del elemento fotosensible, utilizando un panel fotovoltaico de reducidas dimensiones, o varios fotodiodos en paralelo.

15 Este montaje permite evitar, posiblemente por completo, el consumo del detector óptico.

De este modo, el consumo está muy bien regulado y es más independiente de las condiciones de iluminación del entorno.

Según un tercer enfoque, también es posible cortar la alimentación del
20 módulo de procesamiento digital con el fin de limitar el consumo.

Por ejemplo, el módulo de procesamiento digital 224 comprende un modo de bajo consumo que permite desconectar el reloj y posiblemente la alimentación de los componentes electrónicos digitales.

Por ejemplo, la presencia de un cambio de estado en la señal digital en
25 la salida del comparador se utiliza para sacar al sistema del modo de bajo

consumo.

Así, en condiciones de iluminación natural, la intensidad luminosa varía lentamente, por lo que no hay cambios en la salida del acondicionador analógico, por efecto del filtrado de paso bajo.

- 5 En cuanto se produce un cambio brusco de iluminación, aparece una transición en la salida del acondicionador analógico, que se utiliza para hacer reaccionar el módulo de procesamiento digital.

Esta funcionalidad puede implementarse normalmente mediante un modo de bajo consumo de un microcontrolador.

- 10 El consumo puede así reducirse a menos de un microamperio ($1 \mu\text{A}$).

Según un cuarto enfoque, para evitar cualquier consumo residual durante un periodo de almacenamiento del detonador, por ejemplo (que puede durar varios meses antes de su uso), se utiliza un corte general de la alimentación dependiente del nivel de iluminación ("modo oscuridad").

- 15 Como se muestra en la figura 10, se utiliza una etapa adicional de detección del nivel de iluminación, con un ajuste que permite saturar voluntariamente la señal de salida en cuanto aparece un nivel de iluminación muy bajo.

- 20 Para ello, la etapa adicional de detección del nivel de iluminación comprende, por ejemplo, un fototransistor de alta ganancia 235 (por ejemplo $40 \mu\text{A}/100 \text{ Lux}$) y una resistencia de detección 237, cuyo valor de ajuste permite detectar un nivel de iluminación muy bajo, normalmente de unas decenas de Lux.

- 25 La tensión en bornes de la resistencia de detección 237 permite dirigir un transistor 236 que actúa como interruptor.

Así, la etapa de detección óptica 221 permanece sin cambios. Se añade una etapa adicional antes de esta última (pero basada en el mismo principio), presentando esta etapa adicional un ajuste diferente de la etapa de detección óptica.

- 5 De este modo, cuando el detonador está en la oscuridad, guardado en una caja, por ejemplo, la alimentación se corta por completo. El consumo es, por lo tanto, casi nulo (con la excepción de las corrientes de fuga del transistor 236 y del fototransistor 235, que son despreciables).

- 10 Cuando se saca el detonador de la caja para utilizarlo, la etapa de corte general enciende el receptor óptico 220, quedando entonces el detonador a la espera de una activación óptica por parte del usuario (por medio de la consola de control).