



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 340 496**

51 Int. Cl.:

**G01B 15/00** (2006.01)

**E21C 39/00** (2006.01)

**E21C 35/06** (2006.01)

**G01V 5/06** (2006.01)

**E21C 35/08** (2006.01)

**E21C 35/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04779356 .7**

96 Fecha de presentación : **29.07.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1664672**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.06.2006**

54

Título: **Detectores que se guían geológicamente para máquinas minadoras continuas del tipo de barrenado.**

30

Prioridad: **29.07.2003 US 490443 P**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**04.06.2010**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**04.06.2010**

73

Titular/es: **The Mosaic Company  
3033 Campus Drive, Suite E490  
Plymouth, Minnesota 5541, US**

72

Inventor/es: **Frederick, Larry, D. y  
Medley, Dwight**

74

Agente: **Durán Moya, Luis Alfonso**

ES 2 340 496 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).

# ES 2 340 496 T3

## DESCRIPCIÓN

Detectores que se guían geológicamente para máquinas minadoras continuas del tipo de barrenado.

5 Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud provisional U.S.A. número 60/490.443, presentada el 29 de julio de 2003, cuya totalidad se incorpora como referencia en la presente descripción.

### Antecedentes

10 Durante muchos años, se han hecho intentos para controlar máquinas minadoras continuas de tipo rotatorio (de tipo barrenado) mediante la utilización de detectores gamma y de otros sensores distintos. En el caso de las formaciones que contienen perfiles de radiación característicos, tales como formaciones de potasa, los detectores gamma se han mostrado prometedores para controlar o ayudar a los operarios a controlar el corte. No obstante, los resultados han sido, de modo general, peores de lo deseado debido a los defectos en los detectores gamma, a la falta de capacidad del sistema y a la manera en la que se ha utilizado el equipo.

15 Tiene un gran valor económico el poder extraer minerales de mayor calidad al tiempo que se dejan en la mina los minerales de menor calidad. No solamente existe un coste asociado con el corte y la separación de materiales no deseados, sino que los materiales satisfactorios deben ser separados de los materiales residuales y estos últimos se deben desechar. Existe asimismo la necesidad de calcular la calidad de la mena en la que se extrae mineral. Los intentos anteriores para medir la calidad de una mena con detectores gamma no han sido efectivos por algunas de las mismas razones por las que no ha sido eficaz el control del corte. La medición de la calidad requiere poder medir activamente el grosor de los estratos, el nivel de radiación de cada estrato, y calcular la cantidad de material que se está extrayendo de cada estrato. Los enfoques anteriores y los utilizados actualmente no proporcionan suficiente precisión para realizar cálculos precisos, por las razones que se van a explicar más adelante.

20 El estudio de los intentos convencionales para controlar los procesos de corte de una máquina minadora continua de tipo barrenado utilizando detectores gamma ha mostrado que cuando se han utilizado detectores gamma, no han sido situados apropiadamente para poder realizar las mediciones necesarias. A menudo, los detectores están situados sobre el almacén de la máquina minadora, de 6 a 12 pies respecto a la cara de la formación que se está cortando. Los detectores situados a muchos pies de la cara están midiendo por donde ya ha pasado la cuchilla en vez de donde se está moviendo la misma. Si se toma la decisión de desplazar hacia arriba o hacia abajo los cabezales de la cuchilla, antes de que los detectores gamma puedan medir el efecto de la decisión, la máquina minadora, o máquina de orugas, habrá subido o bajado por el piso cortado recientemente que resulta de la decisión de corte. Haciéndolo de este modo, los efectos de la decisión de corte se amplificarán y las condiciones se establecen a continuación para una respuesta incluso más exagerada. Además, una cierta dinámica operativa, si no se corrige, dará como resultado pequeñas desviaciones de la trayectoria ideal, incluso si la formación es relativamente constante. Además, los detectores, al estar sobre la carrocería de la máquina minadora, están situados en posiciones fijas. Serían necesarios numerosos detectores de posición fija, que tuvieran campos de visión especialmente seleccionados, para adquirir datos precisos de la radiación procedente de los estratos a observar. Las limitaciones físicas impiden la utilización del número necesario de detectores y hace imposible esencialmente conseguir los campos de visión ideales.

25 Se piensa que existen muchas razones prácticas por las que los detectores gamma no se colocan cerca de las cuchillas rotativas de las máquinas minadoras continuas o sobre dichas cuchillas. En primer lugar, está la dificultad de montar un detector en los rotores, dadas las limitaciones de espacio evidentes y la geometría. Se utilizan dos o cuatro rotores, y los mismos están intercalados cuando giran. Si los detectores son suficientemente pequeños como para ajustarse en el espacio disponible, sin interferencia con el rotor opuesto, puede que no sean suficientemente sensibles. Otro obstáculo es que la mayoría de detectores gamma industriales no pueden soportar el choque, la vibración y la abrasión asociados con estar cerca de la cuchilla o sobre la misma. Incluso si no se rompen debido al entorno, dichos detectores son propensos a producir falsos recuentos cuando están sometidos a choques o a vibraciones elevadas. Estos falsos recuentos reducen el rendimiento. Tampoco es un tema sencillo proteger apropiadamente los detectores gamma, manteniendo al mismo tiempo un campo de visión suficientemente amplio, tengan una resolución espacial satisfactoria donde sea necesario y sean suficientemente pequeños para estar situados apropiadamente sobre un rotor.

30 Son necesarios sensores de movimiento u otros sensores adecuados, tales como sensores de posición, y microcontroladores o procesadores asociados para correlacionar las mediciones con la posición en la formación de la que se extrae mineral y para procesar mediciones procedentes de múltiples estratos de mena. Otra necesidad especial que se debe cubrir cuando se sitúa el equipo sobre el rotor es dotar de energía suficiente a los sensores y a los transmisores sobre el rotor. Dotar de energía a los detectores sobre los rotores requiere módulos de batería o generadores accionados por gravedad sobre los rotores, escobillas (anillos deslizantes) para transferir energía a través del eje rotativo que soporta los rotores o algún otro mecanismo adecuado. Otro desafío es la transmisión de datos desde los detectores hasta los sistemas de control sobre la carrocería de la máquina minadora. En conjunto, tener que realizar estas y otras disposiciones especiales, además de las limitaciones fundamentales de los detectores disponibles, han disuadido de la utilización de un sistema de detectores gamma montados en el rotor o han dado como resultado fallos decepcionantes.

35 Sigue existiendo la necesidad de un sistema eficaz de minería continua de tipo barrenado. Los detectores gamma montados en el rotor y el hardware asociado pueden producir un sistema de control más eficaz, pero presentan muchos problemas nuevos a resolver.

## ES 2 340 496 T3

La patente U.S.A. número 6.435.619, por ejemplo, incluye ciertas innovaciones dirigidas, de modo general, a la minería de galerías y puntales o a la minería de paredes largas utilizando una máquina minadora continua del tipo de tambor.

5 El documento U.S.A. 3.591.235 A, que se considera la técnica anterior más relevante, da a conocer un cabezal de corte para una máquina minadora de minerales que comprende una cuchilla rotatoria dotada de una fuente y un detector de radiaciones electromagnéticas situados a lo largo de su periferia. Están dispuestos asimismo medios sobre la cuchilla para relacionar la señal de salida del detector con la posición angular de la fuente o del detector.

10 Aunque algunos aspectos de la presente invención son susceptibles de ser utilizados en la extracción de minerales de numerosos tipos de menas, la presente invención se describirá principalmente haciendo referencia a la extracción de potasa, pero se puede aplicar a otros tipos de extracción en los que existe radiación en la formación. Son ejemplos la extracción subterránea de carbón y trona.

15 El control vertical de una máquina minadora continua en una formación de potasa requiere conocer la relación de la máquina minadora con los estratos de soporte de minerales en la formación, así como conocer la calidad de la mena en esos estratos. La radiación de la potasa es proporcional, de modo general, a su concentración en el estrato mineral. Cuando existe una concentración mayor de potasa, el nivel de radiación es asimismo mayor. Midiendo la cantidad de radiación que emana de los estratos de mineral por los que está cortando la máquina minadora, se puede determinar  
20 la posición de dicha máquina con relación a dichos estratos. Se pueden utilizar asimismo datos procedentes de dichas mediciones para determinar la calidad de la mena en la que se extrae el mineral.

Dado que el grosor de los estratos minerales varía, la determinación la posición de la máquina minadora con relación a un único estrato no es una base suficiente para un buen control. Se requiere asimismo una información  
25 precisa sobre el grosor de los estratos. O, dicho de otro modo, es necesario conocer la posición de los límites de una serie de estratos que está cortando la máquina minadora. Asimismo, es importante conocer la calidad de la mena en los estratos de la parte superior (denominada asimismo el “techo” o la “parte trasera”) y en la parte inferior (denominada asimismo el “suelo”) del túnel. El conocimiento de la posición y la calidad de la mena permite el guiado sistemático de la máquina minadora a través de la formación geológica para optimizar la calidad del mineral que se está extrayendo.

30 Se necesita asimismo controlar la rodadura para mantener la máquina minadora alineada con el suelo, que a menudo está inclinado de un lado al otro. A efectos de conseguir el control de la rodadura, es decir, de la inclinación de un lado al otro, se requiere el conocimiento de la relación de la máquina minadora con los estratos minerales a ambos lados de dicha máquina. Si se utilizan las mediciones gamma como la base del control de la rodadura, es necesario  
35 obtener datos gamma procedentes de las paredes en cada lado de la máquina minadora, de manera que los cabezales de la cuchilla pueden estar situados para corresponderse con la inclinación del estrato. Una vez hecho esto, la máquina minadora avanzará sobre el suelo cortado recientemente, que tiene una inclinación diferente, de un lado al otro, y de este modo quedará alineada de nuevo con el estrato. A medida que la inclinación de la máquina minadora cambia para coincidir con la de los estratos en los que se extrae mineral, los cabezales de la cuchilla rotatoria volverán a su orientación nominal con relación a la carrocería de la máquina minadora. A efectos de conseguir un buen control,  
40 los cabezales de la cuchilla deben estar fabricados para responder a la información sobre la formación en la cuchilla, situada delante de la máquina minadora.

Dado que el equipo de minería, incluyendo cualquier detector gamma utilizado, está sometido a radiación por  
45 todas las superficies expuestas de la formación en la que se extrae mineral, los sensores deben estar protegidos con respecto a las direcciones distintas de la zona objetivo del estrato de interés. En otras palabras, el sensor debe buscar la radiación que procede solamente de la dirección de la zona objetivo deseada y no ver la radiación procedente del resto de direcciones.

50 Los minerales, tales como potasa, existen en capas o estratos. Las mediciones realizadas lateralmente hacia el interior del plano de un estrato producirán datos que son más fáciles de interpretar que las mediciones realizadas perpendicularmente a un estrato. Cuando se mira perpendicularmente a los estratos, es difícil determinar qué parte de la radiación tiene su origen en el estrato más cercano al detector y la que procede de los estratos más alejados. Esto se puede superar, hasta cierto punto, utilizando datos gamma espectrales, en lugar de solamente recuentos de gamma en  
55 bruto.

Una disposición ideal, si se pudiera conseguir, sería instalar un pequeño detector cerca de los extremos de un brazo sobre cada rotor, de manera que los detectores podrían medir la radiación que llega en un plano desde los estratos en la cara que se está cortando. Con esta configuración, los detectores estarían mirando exclusivamente hacia delante  
60 de la cuchilla. Si se pudiera conseguir tener detectores situados de este modo, debería permitir un control vertical satisfactorio. No obstante, existen problemas prácticos con la puesta en práctica de dicha disposición ideal. Sería muy difícil, si no poco útil, fijar sensores de manera que se pudieran extender y retraer junto con las cuchillas en los rotores. Son necesarias cuchillas extensibles para evitar que las cuchillas se queden atascadas entre el techo y el suelo debido al comado natural del techo a medida que se corta el túnel. Además, para proporcionar un campo de visión (FOV) pequeño, que abarque un ángulo sólido pequeño independientemente de la posición del rotor, se requiere un dispositivo  
65 de colimación de longitud considerable, a menos que el elemento de centelleo sea de tamaño pequeño. La adición de un gran tubo de colimación hace incluso más difícil el trabajo de montaje cerca de los extremos. Pero, si el elemento de centelleo es de tamaño pequeño de manera que el tubo de colimación protegido sea pequeño, el régimen de recuento

## ES 2 340 496 T3

es demasiado reducido para proporcionar datos estadísticamente precisos. Además, si el FOV es de tamaño pequeño comparado con el elemento de centelleo, la relación del ángulo sólido que abarca la zona objetivo en la formación es muy pequeña comparada con el ángulo sólido del resto de direcciones. Entonces, llega a ser necesaria una gran cantidad de protección para reducir los recuentos de fondo. En conjunto, estas consideraciones hacen poco práctico situar un detector gamma cerca de los extremos, mirando hacia la cara.

Al afrontar el problema anterior, se podría elegir colocar un detector más hacia abajo sobre el brazo del rotor, más cercano al centro. Esto no es satisfactorio puesto que los requisitos de colimación aumentan, así como la protección para el colimador, y ni el espacio ni la posición permiten que los detectores habituales sean situados de tal manera que sean eficaces. Se percibe que el problema es demasiado difícil de superar, particularmente si se utilizan detectores gamma, industriales, convencionales. A efectos de superar los problemas anteriores, se requiere una combinación especial de diseño del hardware y de estrategia del sistema.

Existe un método y una arquitectura del sistema que producirá resultados excelentes. Un detector puede estar situado sobre un brazo del rotor de tal manera que esté mirando en la dirección radial hacia la superficie de la trayectoria circular que la cuchilla rotatoria está cortando. Si el detector tiene un perfil reducido y no se extiende mucho hacia abajo del brazo del rotor en la dirección del centro, se ajustará bien a la superficie del mineral y estará próximo a la misma. Esta posición es ideal para utilizar un detector que tenga una relación relativamente grande entre la longitud y el diámetro, debido a varias razones importantes. En primer lugar, es importante proporcionar un campo de visión estrecho en la dirección perpendicular a los estratos, pero es igualmente importante tener una zona de visión suficientemente grande para proporcionar una sensibilidad adecuada. Un tamaño del elemento de centelleo que es adecuado para esta aplicación es 2 pulgadas por 10 pulgadas y debería estar orientado de manera que su eje mayor fuese paralelo a los estratos minerales. Al tener esta forma, es más fácil configurar la protección para producir un FOV que sea estrecho en una dirección, la dirección en la que se necesita una resolución espacial satisfactoria, y ancho en la otra dirección en la que la resolución espacial es mucho menos importante. Cuando el brazo del rotor es horizontal y el detector está mirando horizontalmente hacia los estratos, lateralmente, el campo de visión estrecho es importante para el rechazo de la radiación desde los estratos por encima y por debajo del que se está midiendo. Cuando el brazo es vertical, se desea una resolución satisfactoria para detectar el cruce de la superficie de contacto en el techo. Al tener un FOV ancho la dirección de delante hacia atrás, paralela a los estratos minerales, aumenta la sensibilidad sin reducir la resolución en la dirección tangencial para todas las posiciones del rotor.

Otra ventaja importante de utilizar un elemento de centelleo que tenga una forma alargada es que no requiere mucho espacio por encima del brazo del rotor. Esto es particularmente importante en el caso de los diseños de rotor que tienen poco espacio entre rotores opuestos. Además, la forma permite que todo el detector sea colocado cerca del extremo del brazo del rotor de manera que esté más allá de la trayectoria del extremo del brazo en el rotor opuesto, excepto un tramo que puede ser suficientemente bajo para no entrar en colisión con el brazo en el rotor opuesto. Si se utiliza una configuración de cristales convencional, que tiene una superficie redonda expuesta a la radiación, se requiere un tubo de colimación redondo. Esta longitud del tubo debe ser al menos dos veces el diámetro del cristal, y tal vez considerablemente más larga, para conseguir una resolución espacial aceptable. En cambio, un detector, tal como se ha propuesto en este documento, que tiene un diámetro relativamente reducido proporciona una resolución espacial satisfactoria y deja asimismo espacio para añadir más protección a efectos de reducir la radiación de fondo, mejorando de esta manera la relación señal-ruido.

Pueden ser útiles algunas explicaciones para entender mejor el efecto del detector FOV sobre la sensibilidad. La sensibilidad total para un detector de un tamaño y un tipo dados es la integración de la zona de visión sobre la zona del cristal. Es más correcto decir que la sensibilidad es la integración del volumen de mineral que emite radiación al detector sobre el volumen del detector. Dado que los rayos gamma tienen una amplia gama de energías, particularmente después de ser dispersados durante su trayecto desde su fuente hasta el detector, algunos serán detenidos y contados cerca de la superficie del elemento de centelleo. Los rayos de mayor energía tenderán a penetrar además en el elemento de centelleo antes de ser detectados. Algunos pasarán en realidad a través del elemento de centelleo y no serán contados. Por lo tanto, la sensibilidad total de un detector está determinada tanto por su área superficial expuesta como por su volumen efectivo. Con el objetivo de estimar y comentar, es suficientemente preciso comparar configuraciones basadas en zonas en lugar de en volúmenes, en tanto los grosores promedio de los elementos de centelleo que se están comparando sean razonablemente similares.

Esta mayor sensibilidad es crítica para un detector montado en el rotor, puesto que la visión se está moviendo constantemente mientras el rotor gira. Los datos procedentes de cada segmento de la pared, del techo y del suelo del túnel se deben recoger y sumar con el paso del tiempo para adquirir suficientes datos a efectos de superar la naturaleza estadística de la radiación. Los detectores menos sensibles requieren más tiempo para adquirir el conjunto de datos necesario.

A efectos de entender mejor la importancia del factor de forma para un detector, un comentario simplificado de la relación de la forma del detector y la forma deseada del FOV muestra la importancia de los factores. Se considera un detector gamma industrial, habitual, que tiene un elemento de centelleo de 4 pulgadas de diámetro por 2 pulgadas de grosor. En muchos diseños del rotor de las máquinas minadoras, no hay espacio para montar un detector protegido apropiadamente que contenga un cristal de 4 pulgadas de diámetro. Pero, suponiendo que haya espacio para un detector de ese tamaño, comenzando con el cristal de 4 pulgadas de diámetro, añadiendo los materiales necesarios para soportar y proteger el mismo del entorno de vibraciones y añadiendo a continuación una protección gruesa sobre el detector y

## ES 2 340 496 T3

sobre el tubo de colimación, se tiene como resultado una altura adicional por lo menos de 3 a 4 pulgadas. Además, el tubo de colimación debe ser adecuadamente largo para limitar suficientemente el FOV en la dirección tangencial, haciendo que el detector tenga al menos 8 pulgadas de altura, y probablemente más. Es razonable suponer que la longitud del tubo de colimación es por lo menos dos veces el diámetro del elemento de centelleo. Esto fuerza a que el centro del elemento de centelleo esté aproximadamente 20 pulgadas alejado de la superficie del mineral. A 20 pulgadas, el FOV principal, la zona sobre la superficie del mineral que está a la vista de toda la superficie frontal del elemento de centelleo, es aproximadamente de 20 pulgadas cuadradas, o un círculo que tiene aproximadamente 5 pulgadas de diámetro. De modo más importante, el FOV parcial que ve por lo menos el 50% del volumen del elemento de centelleo es aproximadamente de 75 pulgadas cuadradas y es un círculo aproximadamente de 10 pulgadas de diámetro. El área superficial en sección transversal de dicho cristal de 4 pulgadas de diámetro sería aproximadamente 12,6 pulgadas cuadradas. La sensibilidad del FOV parcial se referirá aproximadamente al producto del FOV parcial de 75 pulgadas cuadradas y la zona de 12,6 pulgadas cuadradas.

En comparación, un detector de 2 pulgadas por 10 pulgadas diseñado apropiadamente tiene un área superficial de 20 pulgadas cuadradas. El volumen del cristal largo es asimismo un 25% mayor que un cristal de 4 pulgadas de diámetro por 2 pulgadas de grosor. No obstante, se puede colocar aproximadamente a 10 a 11 pulgadas de la superficie del mineral. Su altura será sólo aproximadamente de un 65% de la del detector industrial de 4 pulgadas. El FOV parcial del 50% de este detector largo en la dirección tangencial se puede obligar fácilmente a que sea sólo de 9 pulgadas, o menos si se desea, mientras su FOV parcial del 50% en la dirección longitudinal, paralela al plano del estrato, puede ser tanto como 40 pulgadas. Un FOV de 9 pulgadas por 40 pulgadas proporciona 360 pulgadas cuadradas de zona de visión que se puede integrar sobre una superficie del cristal de 20 pulgadas cuadradas. El FOV parcial para este cristal está asimismo aproximadamente relacionado con el producto de 360 y 20. Después de tener en cuenta los factores de distancia, es evidente que el cristal alargado es mucho más sensible. Dada esta sensibilidad muy mejorada, si se compara con el elemento de centelleo de 4 pulgadas de diámetro, el FOV del elemento de centelleo de 2 pulgadas por 10 pulgadas se puede reducir más, según sea necesario, en la dirección longitudinal y seguir manteniendo una sensibilidad adecuada. Pero, por el contrario, para reducir el campo de la visión parcial del detector de 4 pulgadas, se debe aumentar la longitud del tubo de colimación, cuando su longitud ya es un problema principal al menos para algunos diseños del rotor. Haciéndolo de este modo, se reduciría más su ya reducida sensibilidad.

Un detector gamma debe tener un dispositivo de detección de la luz, tal como un tubo fotomultiplicador (PMT), para convertir flashes luminosos, producidos mediante el elemento de centelleo, en señales eléctricas. Este PMT aumenta más la longitud del detector gamma, cuando la longitud es ya un grave problema. Una opción que se podría considerar sería colocar el PMT en el interior del tubo de colimación, entre el elemento de centelleo y la fuente de la radiación. Aunque esto es factible, evidentemente no es deseable puesto que bloquea la radiación entrante, particularmente la radiación de menor energía. Estas consideraciones fuerzan de nuevo a considerar la utilización de un cristal más pequeño, produciendo un detector globalmente más pequeño y causando una pérdida seria de sensibilidad del detector. De nuevo, existe una ventaja al utilizar la forma del cristal propuesta en este documento, puesto que el diámetro más pequeño hace posible utilizar un PMT más pequeño, que tiene una cara más pequeña para que entre la luz. Esto se mejora todavía más colocando el PMT en el interior del cuerpo envolvente cerrado de forma hermética, con el cristal de centelleo, de manera que se pueden eliminar la ventana intermedia y un acoplador óptico. Otras características especiales de diseño del detector permiten reducir más su longitud.

Tal como se puede comprender a partir de los comentarios anteriores, existe una fuerte competencia entre el espacio disponible, el campo de visión necesitado, los requisitos de colimación, un elemento de centelleo suficientemente grande y los requisitos de protección. Un detector industrial habitual, que tiene una cara circular de centelleo rodeada por un tubo de colimación, no es adecuado para satisfacer los requisitos de configuración, comportamiento y fiabilidad. Los comentarios anteriores eran en base a un hipotético elemento de centelleo de 4 pulgadas de diámetro para hacer una comparación más comprensible. En realidad, la mayoría de los detectores industriales, si no todos, que se utilizan actualmente en máquinas minadoras continuas de tipo barrenado, están en posiciones fijas sobre la carrocería de la máquina minadora, y tienen elementos de centelleo que tienen solamente 2 ó 3 pulgadas de diámetro. Aunque estos tamaños son más fáciles de integrar en un rotor, su sensibilidad es una seria limitación.

Dado que un detector sobre un rotor se mueve rápidamente, de manera habitual aproximadamente 90° por segundo, la cantidad de radiación gamma que se puede medir en una única revolución no es suficiente para el control de la máquina minadora. Incluso para una configuración y una posición de un detector altamente sensible tal como se ha dado a conocer ya, sigue siendo necesario acumular datos gamma con el paso del tiempo para cada segmento de interés. Una máquina minadora de este tipo avanza de manera habitual lentamente, entre 1 y 2 pies por minuto, y los cambios en la inclinación de la formación ocurren lentamente, en muchos pies de desplazamiento, por lo que se pueden combinar las lecturas a partir de muchas revoluciones del rotor. Además, los desplazamientos no deseables de la máquina minadora debido a la dinámica operativa son habitualmente pequeños en un período de 1 a 2 minutos. Por lo tanto, es factible combinar datos gamma para una serie de revoluciones. Para combinar los datos de muchas revoluciones, se requiere un método para correlacionar cada recuento gamma con una posición y sumar las mediciones realizadas para cada posición. Esto se describirá con más detalle más adelante.

Algunos materiales de centelleo, tales como el yoduro sódico, son muy frágiles y se pueden dañar fácilmente. Se sabe asimismo que los elementos de centelleo gamma producen falsos recuentos bajo vibración e impactos, lo que requiere que se realice un envase especial libre de ruidos. A efectos de fabricar un elemento de centelleo, particularmente uno que tenga una relación relativamente grande entre la longitud y el diámetro, tal como un diámetro de 2

## ES 2 340 496 T3

5 pulgadas por una longitud de 10 pulgadas, se requiere un envase especial por múltiples razones. Esto se describirá con detalle más adelante. A efectos de guardar espacio, el detector debe ser de un tamaño tan pequeño como sea posible, mientras se siga proporcionando un elemento de centelleo dimensionado de manera adecuada. Se han hecho disposiciones en esta invención para fabricar el detector tan compacto como sea posible, tal como se describirá con detalle más adelante.

Un detector gamma bien diseñado para esta aplicación mantiene los tubos fotomultiplicadores (los PMT), u otros dispositivos de detección de luz, de modo que estén directamente acoplados al cristal de centelleo con un elemento de acoplamiento de anillo engrasado o algún otro acoplamiento fiable de rendimiento elevado. La eliminación de la ventana, que normalmente existe entre el PMT y el cristal, ayuda a conseguir el comportamiento más elevado posible. El diseño debe ser un diseño compacto, muy robusto, que es crucial para conseguir el comportamiento preciso en el espacio limitado disponible. Dicho diseño debe soportar las fuerzas de la extracción de mineral, los impactos, la vibración y la abrasión. El soporte del PMT crítico/elemento de centelleo en el interior del detector se puede conseguir mediante soportes metálicos (tales como manguitos flexibles). Unos manguitos flexibles similares, de un tipo doble especial, soportan los elementos electrónicos y los sensores de movimiento en la armadura. Estos dispositivos proporcionan propiedades dinámicas excelentes y ocupan un espacio mínimo. El manguito flexible para el elemento de centelleo tiene intersticios que minimizan la atenuación de la radiación gamma entrante. El elemento de detección de la luz, tal como un PMT, debe ser de tipo robusto. Esta armadura debería estar rellena de plomo, o estar fabricada mediante un metal resistente de densidad elevada tal como volframio, para reducir la radiación de fondo. En la armadura se utiliza una ventana no metálica de alta resistencia para proteger el elemento de centelleo y otro hardware de la mena en la que se extrae mineral, al tiempo que proporciona poca atenuación de los rayos gamma entrantes.

Se utilizan giroscopios verificados para determinar la dirección hacia la que están señalando los detectores, de manera que se pueden correlacionar los recuentos gamma con la posición. Se utiliza un acelerómetro para eliminar la desviación, o el desplazamiento, a largo plazo de las salidas del giroscopio y para relacionar las posiciones de los rotores con respecto a la gravedad. Un método alternativo para eliminar la desviación a largo plazo de las mediciones del giroscopio puede incluir conmutadores magnéticos o conmutadores mecánicos, conmutadores de proximidad, haces láser, indicadores de posición del eje, sensores acústicos, etc. Por ejemplo, puede colocarse un imán sobre el rotor opuesto, de tal manera que active un sensor magnético en el conjunto de detectores en el momento en que el rotor opuesto se aproxima al rotor sobre el que está situado el conjunto de detectores. Es posible colocar dicho imán en otras posiciones sobre la máquina minadora. Técnicamente se prefiere la utilización del acelerómetro puesto que es una medida independiente con relación a la gravedad, puede estar contenido totalmente en el conjunto de detectores y no requiere ningún soporte exterior.

Cada detector contiene dispositivos electrónicos, en el interior del módulo de control, precisos para adquirir y transmitir datos y/o decisiones a la máquina minadora y entre sí. Habitualmente, dichos dispositivos electrónicos incluyen por lo menos tres microprocesadores, para control gamma, control de movimiento y control lógico. La sección de control lógico adquiere datos procedentes de los otros dos, toma decisiones lógicas y envía a continuación las decisiones y los datos a la máquina minadora, según sea necesario. Si un detector es el principal y el otro el subordinado, la mayor parte de la toma de decisiones se hace en el principal. Se prefieren microcontroladores PIC para realizar estas funciones de procesamiento debido a sus requisitos de pequeño tamaño y reducida potencia.

El paso de datos desde un detector, denominado a veces detector subordinado, hasta otro detector, denominado detector principal, se puede conseguir mediante técnicas diferentes. Los transmisores y receptores de RF están disponibles en tamaños muy pequeños y se pueden integrar en los detectores con este objetivo. Además, los datos se pueden enviar desde un detector a través de escobillas, anillos deslizantes o conjuntos de codificadores hasta el almacén de la máquina minadora y se pueden enviar a continuación a través de un segundo conjunto de escobillas, anillos deslizantes o conjuntos de codificadores hasta el detector sobre el otro rotor. La información se puede transmitir en ambas direcciones, utilizando dichas técnicas, según sea necesario. Unos elementos de generación de señales están incluidos en el módulo de control para asegurar una relación señal-ruido adecuada de los datos transmitidos mediante cualquiera de estas técnicas. Además, los datos y/o las decisiones de corte procedentes de los detectores se pueden enviar a la máquina minadora de manera similar.

Además de enviar decisiones de corte a los dispositivos hidráulicos de control de la máquina minadora, se pueden transmitir datos para presentarlos al operario. El módulo de control dividirá la rotación completa del rotor en muchos segmentos alrededor de la circunferencia. Un segmento habitual sería de 4 pulgadas a lo largo de la circunferencia. Se registra continuamente la radiación gamma y se correlacionan los recuentos gamma con el segmento en su campo de visión. Si se añade un detector al segundo rotor con el objetivo de controlar el rodamiento, los datos procedentes de dicho detector se asociarán automáticamente con el segmento apropiado, que estará en una posición diferente del ciclo del segundo rotor. Una vez en cada rotación, el detector de radiación enviará los datos, junto con las decisiones de guiado, recogidos en la revolución anterior del rotor mediante un enlace RF. Si se utiliza un enlace RF, para ahorrar energía, el transmisor RF solamente puede estar conectado durante un tiempo breve en cada revolución y en el momento en que el rotor está en la mejor posición para la transmisión. Si la máquina minadora está equipada con anillos deslizantes para cada eje del rotor, que sería la disposición preferente, se elimina la necesidad de equipo RF.

Se puede requerir una fuente especial de energía para las partes del sistema de guiado geológico sobre el rotor. Esto se puede conseguir mediante un conjunto de baterías de níquel-cadmio que están en otra caja blindada situada

cerca del detector. Ejemplos de otros medios para dotar de energía al sistema son utilizar un sistema accionado por gravedad, o disponer unos medios para transferir energía desde la máquina minadora a través del eje hasta el rotor.

### Características

5 En un aspecto, la invención da a conocer un detector para una máquina minadora, que comprende un elemento de detección gamma y un elemento de detección de la luz acoplado a dicho elemento de detección gamma. La invención da a conocer además que el detector está montado en una cuchilla rotatoria de una máquina minadora continua del tipo de barrenado, de tal manera que el elemento de detección gamma tiene una visión de una formación geológica de la que se extrae mineral.

15 En otro aspecto, la invención da a conocer un sistema de control de minería, que comprende una máquina minadora que tiene por lo menos dos cuchillas rotatorias, un detector gamma, por lo menos, sobre cada una de dichas dos cuchillas rotatorias para recibir emisiones gamma desde una formación geológica, y un acelerómetro y un giroscopio, en el que el acelerómetro y el giroscopio correlacionan las emisiones gamma recibidas con posiciones de por lo menos dichas dos cuchillas rotatorias. La invención da a conocer además un módulo central, en la que el módulo central utiliza las lecturas correlacionadas para determinar si se deben desplazar las cuchillas.

20 Aún en otro aspecto, la invención da a conocer un sistema de control de minería, que comprende una máquina minadora que tiene por lo menos dos cuchillas rotatorias y un detector gamma, por lo menos, sobre cada una de dichas dos cuchillas rotatorias. La invención da a conocer asimismo unos medios para correlacionar las lecturas de los rayos gamma con las posiciones de las cuchillas, y unos medios para combinar las lecturas de los rayos gamma correlacionadas en posición a efectos de determinar si por lo menos dichas dos cuchillas rotatorias se deberían desplazar hacia arriba o hacia abajo para colocar dicha máquina minadora en una mena de mayor calidad.

25 Por lo tanto, la invención da a conocer un aparato y un método para utilizar el aparato que cubren una necesidad en la industria minera. Estas y otras características y ventajas de la invención se entenderán más claramente a partir de la descripción y de los dibujos detallados que siguen de realizaciones preferentes de la presente invención.

### 30 Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista que muestra detectores sobre los brazos de una máquina minadora continua de doble rotor de acuerdo con una realización de la invención.

35 La figura 2 es una vista, en sección transversal, de un detector de la figura 1 que indica un campo de visión.

La figura 3 es una vista, en sección transversal, de un detector de la figura 1 que indica un campo de visión.

40 La figura 4 es una vista, en sección transversal, de un detector de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 5 es una vista superior de un detector de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 6 es un esquema del flujo de datos.

### 45 Descripción detallada de realizaciones preferentes

Tal como se ha descrito anteriormente, los detectores gamma son buenos candidatos para ser utilizados a efectos de guiar geológicamente máquinas minadoras continuas del tipo de barrenado para barrenar a través de formaciones de soporte de minerales o de soporte de menas. Dos de las consideraciones más importantes al crear un método preciso para guiar geológicamente una máquina minadora a través de una formación geológica, que tiene estratos minerales de grosor variable y calidades distintas, es la posición de los detectores gamma y su campo de visión. El objetivo es dirigir las cuchillas de la máquina minadora (figura 1) en respuesta a mediciones realizadas en la formación a través de la que está barrenando o cortando la máquina minadora. El enfoque que se ha tomado tradicionalmente es montar detectores sobre el armazón de la máquina minadora a distancias de 4 a 12 pies por detrás de la cara que se está cortando y medir la radiación gamma desde la parte superior, la parte inferior y los lados del túnel. Dado que los estratos minerales son variables en grosor y la posición de la máquina minadora con relación a dichos estratos es cambiante, debido a decisiones de guiado intencionadas o debido a cambios en la propia formación, serían necesarios muchos detectores gamma para medir con precisión la posición de los límites de los estratos si están en posiciones fijas. Además, los FOV de dichos detectores tendrían que ser muy precisos, un requisito que impone algunas restricciones muy serias en el tamaño de los detectores y en su sensibilidad. Se requerirían algoritmos extremadamente complejos para separar la mayoría de variables que crearía dicho enfoque. En vista de estos serios obstáculos, el enfoque tradicional es utilizar unos pocos detectores diseñados convencionalmente e intentar sólo realizar aproximaciones generales sobre los límites de los estratos y la posición de la máquina minadora con relación a los mismos. Una solución mucho mejor es montar los detectores gamma, que están diseñados de manera adecuada para este entorno, en las cuchillas rotatorias de tal manera que estén viendo la radiación que procede de los estratos y hacer esto con unos FOV que están optimizados para este objetivo. Sigue a continuación una explicación a título de ejemplo de la manera como se puede conseguir lo anterior.

## ES 2 340 496 T3

Las máquinas minadoras continuas de tipo barrenado separan minerales de una formación mineral barrenando un túnel. Tal como se muestra en las figuras 1 y 6, dos detectores (10), (11) están montados en los brazos (16), (17) del rotor en una máquina minadora (48) que avanza en una dirección perpendicular al plano que incluye los detectores (10), (11). Un rotor (8) gira en el sentido de las agujas del reloj y el otro rotor (9) gira en sentido contrario al de las agujas del reloj. Aunque algunas máquinas minadoras continuas de tipo barrenado tienen cuatro rotores, los comentarios que siguen se aplican a ambos tipos. En el caso de una máquina minadora de cuatro rotores, los comentarios se referirán a los dos rotores exteriores.

La formación indicada en la figura 1 se supone que está compuesta por capas (1) a (7), o estratos, cada uno de los cuales tiene una composición mineral de distinta calidad. Dichas capas (1) a (7) varían algo en grosor y pueden estar inclinadas en cualquier dirección, y la inclinación puede variar algo frecuentemente. Es importante de este modo delimitar el grosor, la posición y la calidad de las diversas capas (1) a (7) cuando la máquina minadora corta a través de la formación, de manera que se pueden tomar decisiones sobre si la máquina minadora debería estar cortando más alto o más bajo para separar la mena de calidad más elevada.

Al colocar los detectores (10), (11) en el extremo de tramos rígidos, respectivamente, de los brazos (16), (17) del rotor, los mismos están aproximadamente a unas 11 pulgadas de la superficie del mineral y muy cerca de la cara hacia la que están avanzando las cuchillas. El elemento de detección gamma en el detector ha sido conformado y orientado para permitir que el campo de visión (FOV) sea pequeño en la dirección necesaria para identificar los límites (41) a (46) de los estratos, al tiempo que sea grande en la dirección paralela a los estratos. La combinación de hacer que el elemento de detección sea pequeño en dirección tangencial y de colocar el elemento próximo a la superficie del mineral permite medir la superficie en pequeños segmentos a medida que los rotores (8), (9) giran. Igualmente importante, la combinación de hacer que el elemento de detección tenga diez pulgadas de longitud y hacer que el FOV tenga la dimensión mayor en el plano de los límites (41) a (46) de los estratos, proporciona asimismo una sensibilidad elevada a cada estrato cuando se da un barrido hasta más allá del mismo. Esta sensibilidad es esencial para tener un régimen de recuentos suficientemente elevado con el que se pueda conseguir una resolución espacial elevada. Utilizando esta disposición, los requisitos contrapuestos con respecto al detector, el FOV reducido y la sensibilidad elevada, quedan ambos satisfechos.

A efectos de identificar los límites (41) a (46) de los estratos, es necesario tener regímenes de recuentos en cada lado de cada límite (41) a (46) que sean claramente diferentes de los del otro lado de los límites. Cuando el FOV del detector da un barrido hasta más allá de los límites de los estratos, el cambio en los regímenes gamma se debe medir con precisión y resolución suficientes para permitir tomar decisiones de corte precisas. Si se utilizan detectores gamma industriales configurados convencionalmente, y si están situados, quizás, a 20 pulgadas de la superficie, particularmente si la superficie de detección situada frente a la formación es circular, la resolución espacial se reduce seriamente y/o se pierde mucha sensibilidad, y no parecería factible de esta manera utilizar este enfoque. Dado que la radiación es estadística por naturaleza, si el régimen de recuentos es reducido, no es posible distinguir un lado del límite del otro lado. De hecho, esta cuestión desafiante ha sido una limitación principal en enfoques anteriores y ha sido, probablemente, uno de los elementos de disuasión de otros intentos de montar detectores gamma en los rotores.

Un detector gamma blindado (10), (11), configurado para medir la radiación que se emite desde la formación (6) en la que se extrae mineral, está situado sobre un brazo (16), (17) de cada rotor (8), (9). La razón para tener dos detectores y el modo en el que cooperan se comentarán más adelante, a continuación del comentario de ciertos detalles, la mayoría de los cuales es aplicable a cualquiera de los detectores (10), (11). El comentario está dirigido a un detector, pero el comentario es aplicable a ambos. Se presenta una excepción cuando un detector se convierte en un detector principal y el otro en un detector subordinado. En este caso, el detector subordinado puede tener una capacidad algo reducida.

El campo principal del detector (10) mostrado en la figura 2 está viendo un segmento (14) de la superficie que ha quedado expuesta mediante la operación de minería. En el interior del detector (10) está el elemento de detección gamma (18), que tiene de manera habitual aproximadamente 2 pulgadas de diámetro por 10 pulgadas de longitud. Obsérvese que el FOV principal, el FOV que subtiende un área que es completamente visible para la sección transversal del elemento de centelleo (10), es solamente un segmento pequeño de la superficie cortada mediante el rotor (8), (9). Cuando los rotores (8), (9) giran una revolución completa, se puede imaginar que la superficie que está cortando cada rotor (8), (9) tiene muchos segmentos (14), uno adyacente al otro. Una disposición habitual sería dividir la circunferencia total del rotor (8), (9) en 75 a 100 segmentos, cada uno de 3 a 4 pulgadas de longitud. Haciendo referencia a la figura 3, se puede ver que la longitud del FOV "completo", una vista que deja al descubierto toda la longitud del cristal, es aproximadamente de 24 pulgadas.

Los detectores gamma (10), (11) están configurados de manera que pueden ser montados en el extremo de la parte rígida de los brazos (16), (17). Esto ayudará a clarificar que los extremos (24) de todos los brazos del rotor, incluyendo los brazos (16), (17), en los que están montados los detectores (10), (11), se pueden retraer. Cuando la máquina minadora hace una pausa o deja de cortar, estos extremos se retraen de manera que el asentamiento de la parte superior del túnel cortado recientemente no atraparé o aprisionará los rotores (8), (9) entre el techo combado del túnel y el suelo. Cuando los rotores empiezan a girar, los extremos se extienden para hacer que los rotores (8), (9) tengan su tamaño completo para el corte. Por lo tanto, los detectores (10), (11) deben estar montados en la parte rígida de los brazos (16), (17).

## ES 2 340 496 T3

Haciendo referencia a las figuras 2 a 5, el detector (10) incluye una parte central que tiene un elemento de centelleo (18) que produce un flash de luz o centelleo cuando los rayos gamma (20) procedentes de la formación alcanzan el mismo. El elemento de centelleo está encerrado habitualmente en un elemento de protección (26), que estará cerrado de forma hermética si se utiliza un cristal de yoduro sódico u otro cristal higroscópico. El flash luminoso creado mediante los rayos gamma (20) se convierte en un impulso eléctrico mediante un dispositivo, tal como un tubo fotomultiplicador (no mostrado en la figura). Se prefiere que este PMT esté situado en el interior del cuerpo envolvente con el cristal de centelleo acoplado directamente al cristal para un rendimiento máximo y un tamaño mínimo. No obstante, dicho PMT puede ser exterior al cuerpo envolvente del cristal, o elemento de protección, y recibir los flashes luminosos a través de una ventana. Los soportes dinámicos de los elementos detectores incluyen manguitos flexibles (25), (27). Un cilindro de plomo (22), que tiene una abertura en ventana para que los rayos gamma (20) pasen a su través hasta el elemento de centelleo (18), está rodeando el elemento de centelleo. La armadura (21) está rodeando el plomo (22). Se recomienda un grosor de una pulgada de plomo (22) y una armadura (21) de acero de una pulgada para un efecto pantalla y una protección adecuada contra los materiales de minería. La abertura en ventana está cubierta con un material resistente no metálico (19), tal como poliéter éter cetona (PEEK), para impedir que los minerales extraídos alcancen el elemento de protección (26) alrededor del elemento de centelleo (18). Esta cubierta (19) de la ventana impide asimismo que los materiales interfieran con el funcionamiento de los manguitos flexibles (25), (27) que lo protegen contra la vibración y los impactos. Un suministro (47) de energía a alta tensión, mostrado en la figura 6, suministra energía al conjunto de PMT/centelleo (18).

Con un detector del tipo descrito anteriormente montado en cada rotor y situado para mirar en la dirección radial, se dispondrá de una sensibilidad y de una resolución espacial excelentes. Incluso aunque las necesidades más básicas están completamente cubiertas, estas capacidades no pueden producir por sí solas datos utilizables con el objetivo del control. Dado que los rotores están constantemente en movimiento, las lecturas gamma que se hacen no son útiles a menos que se conozca el lugar al que están mirando los detectores cuando se cuenta cada rayo gamma. Están disponibles giroscopios robustos de estado sólido que pueden proporcionar una medición precisa del movimiento del rotor. Leyendo apropiadamente un giroscopio, la revolución completa de los rotores se puede dividir en segmentos angulares que se corresponden con segmentos espaciales a lo largo de la superficie del túnel que se está excavando mediante los rotores. Los recuentos gamma obtenidos mientras un detector está apuntando hacia un segmento se pueden registrar y se asocian a continuación con dicho segmento.

Un giroscopio (33), mostrado en la figura 2, es el dispositivo más adecuado para este objetivo. No obstante, el giroscopio (33) mide la velocidad de rotación, no la posición. A efectos de obtener datos sobre cada segmento (1) a (7) de la formación, es necesario conocer la posición angular de los rotores (8), (9) para saber el momento en el que los detectores (10), (11) están apuntando hacia cada segmento (1) a (7) y midiendo la radiación (20) desde dicho segmento. Se debe proporcionar un método para identificar una referencia fiable desde la que se puede integrar la salida del giroscopio (33) con el paso del tiempo para calcular la posición de los rotores. El método preferente para conseguir una referencia de posición es utilizar un acelerómetro (34). Merece la pena observar que es posible determinar la posición de los rotores utilizando únicamente el acelerómetro, sin la utilización de un giroscopio, pero no será tan preciso debido a los efectos de la vibración y de los impactos.

Una sección del detector blindado mostrada en la figura 2 incluye un módulo de control (30). El giroscopio (33), el acelerómetro (34) y los procesadores o microcontroladores PIC (37), mostrados en la figura 6, están incluidos en el interior del módulo de movimiento (30). Dichos procesadores PIC (37) leen los cambios en la posición medidos mediante el giroscopio (33) y leen asimismo los recuentos gamma producidos mediante el elemento de centelleo (18). Cuando se leen los recuentos gamma, se correlacionan con el segmento (1) a (7) que se está viendo en ese momento. Las posiciones (16), (17) de los brazos del rotor están referenciadas respecto a la gravedad utilizando el acelerómetro (34). Cuando el acelerómetro (34) está apuntando hacia el techo del túnel, lee el valor máximo y cuando está apuntando horizontalmente, lee el valor nulo. Procesadas apropiadamente, las salidas desde el acelerómetro (34) permiten la determinación de las orientaciones del rotor (8), (9). Debido a las vibraciones, las lecturas del acelerómetro (34) se deben filtrar o promediar y se realizan ajustes a continuación para considerar el retardo en los resultados, producido por el filtrado o el promediado. Las lecturas procedentes del giroscopio son integradas con el paso del tiempo y utilizadas para "envío de alimentación" a los rotores (8), (9). El control de la rodadura requiere conocer la posición de la máquina minadora con relación a los estratos minerales en cada lado de dicha máquina, que se consigue por las mediciones del movimiento y el cálculo. Un único detector realiza las decisiones finales de corte, utilizando la información procedente de ambos detectores. Los datos que son recogidos y procesados mediante el detector subordinado (11) se transmiten al detector principal (10) en una base continua, en tiempo real, y son correlacionados a continuación con las formaciones mediante el detector principal (10). En la figura 6 se indica este flujo de datos a través de enlaces RF o de anillos deslizantes. A efectos de que los brazos intercalados de los rotores (8), (9) no entren en colisión, son bloqueados de manera sincrónica mediante disposiciones en la máquina minadora. Si no existe un juego excesivo en los rotores, es por lo tanto una cuestión de determinar la relación relativa entre la dirección hacia la que está apuntando cada detector y de cambiar a continuación los datos, de manera que los segmentos de ambos lados se correspondan con la misma altura a ambos lados. Esto se consigue en el detector principal (10), junto con el procesamiento de los datos, según se requiera. Una vez que el sistema puede correlacionar con precisión las mediciones por ambos lados de la máquina minadora, se puede calcular la orientación de la máquina minadora respecto a su eje de desplazamiento, con relación a los estratos minerales, y los cabezales de la cuchilla se pueden situar para que coincidan. A medida que la máquina minadora sube por el suelo ajustado a la rodadura, el cabezal volverá de nuevo a su posición nominal a menos que la inclinación del suelo siga cambiando. El detector subordinado puede estar configurado para incluir un giroscopio y un acelerómetro que determinan independientemente la orientación del rotor sobre el que está instalado.

## ES 2 340 496 T3

El módulo de control (30) realiza todo el procesamiento de los datos gamma y de los datos de movimiento para llegar a decisiones de corte. Tal como se indica en la figura 6, el módulo gamma (40) recibe impulsos eléctricos desde el conjunto de detectores de centelleo gamma (18). Dichos impulsos se guardan según sus niveles de energía y se cuentan. Los recuentos totales en el interior de cada acumulador, correspondientes a niveles de energía, así como el número total de recuentos por período de tiempo, se transmiten a continuación al módulo lógico cuando son pedidos mediante dicho módulo.

Simultáneamente, las mediciones realizadas mediante el acelerómetro y el giroscopio se envían al módulo de movimiento (35) tal como se indica en la figura 6. Después del procesamiento mediante el módulo de movimiento, la posición actual del FOV con relación al rotor de la máquina minadora se transmite al módulo lógico (36). El módulo lógico (36) correlaciona a continuación los datos gamma con la posición y aplica algoritmos para determinar la posición de la máquina minadora (48) con relación a los estratos (1) a (7) de la formación. Dada la posición de la máquina minadora (48) con relación a los estratos (1) a (7), se toman decisiones para alinear la máquina minadora (48) con los estratos y para situar verticalmente la máquina minadora (48) a efectos de permanecer en el interior de la formación para extraer el mineral de la calidad más elevada. Estas decisiones de corte se implementan dando órdenes a los rotores (8), (9) para que sean levantados o bajados mediante los dispositivos hidráulicos (46) utilizando el panel de control (44) de la máquina minadora. En el caso del carbón, el objetivo, en general, es barrenar en la dirección de los niveles de radiación gamma más reducidos, mientras que en el caso de la potasa, el objetivo es barrenar en la dirección de la radiación gamma más elevada. Los datos, incluyendo las decisiones de corte, se proporcionan asimismo al operario mediante una pantalla (45). El operario puede ajustar el modo en que la máquina minadora (48) responde a los datos y las decisiones procedentes del detector principal (10) y/o de ambos detectores (10), (11).

Se aplican otros algoritmos para determinar la calidad total de la mena de la que se extrae mineral, para las decisiones de los productos posteriores. Cada uno de los tres módulos electrónicos (34), (35), (36) incluye un microcontrolador PIC (37) que realiza el procesamiento requerido.

Dado que se han hecho disposiciones para contar rayos gamma y procesar estas lecturas a efectos de determinar la intensidad relativa de la radiación para cada segmento en una revolución, se debe actuar sobre esta información. Los microcontroladores PIC (37) en el módulo de control (30) aplican una estrategia del sistema para analizar, comparar y tomar decisiones de corte sobre dichos datos. Las decisiones de corte se envían a continuación a la máquina minadora mediante diversos medios posibles. Si los ejes de los rotores de la máquina minadora están equipados con anillos deslizantes adecuados, la misma sería la puesta en práctica más sencilla del intercambio de información requerido. Se puede utilizar tecnología de rf/datos de alta velocidad si la máquina minadora no está equipada de esta manera. Se puede conseguir una supervisión remota del comportamiento de la máquina minadora una vez que los datos se han enviado a la misma.

En resumen, el diseño de detectores que tengan forma, tamaño y FOV adecuados, que sean altamente compactos pero estén bien protegidos, que estén de manera adecuada libres de impactos y vibraciones, y la colocación de esos detectores sobre los rotores de una máquina minadora continua es la primera etapa en la recogida de los datos adecuados y precisos. La siguiente etapa principal es proporcionar unos medios para correlacionar las mediciones gamma con la posición en la formación. El procesamiento de los datos adquiridos de cada segmento de la superficie del túnel hace entonces posible determinar la posición de los límites de los estratos y la calidad de la mena en los estratos. Finalmente, se pueden aplicar algoritmos a los datos correlacionados espacialmente para optimizar la trayectoria de la máquina minadora a través de la formación y las decisiones lógicas tomadas mediante estos algoritmos se pueden enviar a los controles que accionan el cabezal de la cuchilla. El resultado es un guiado geológico eficaz de la máquina minadora.

Aunque la invención se ha descrito con detalle en relación con realizaciones preferentes conocidas en la actualidad, se debería entender fácilmente que la invención no está limitada a dichas realizaciones dadas a conocer. Más bien, la invención se puede modificar para incorporar cualquier número de variaciones, modificaciones, sustituciones o disposiciones equivalentes no descritas hasta ahora, pero que están dentro del ámbito de la invención, tal como se define en las reivindicaciones que siguen.

55

60

65

# ES 2 340 496 T3

## REIVINDICACIONES

1. Sistema de control de minería, que comprende:

5 una máquina minadora (48) que tiene por lo menos dos cuchillas rotatorias, teniendo cada cuchilla rotatoria un rotor (8, 9) dotado de brazos (16, 17) del rotor;

10 un detector gamma (10, 11), por lo menos, sobre cada una de dichas dos cuchillas rotatorias (8, 9) para recibir emisiones gamma emitidas naturalmente desde una formación geológica, en el que cada detector gamma (10, 11) está montado en uno de los brazos (16, 17) de la cuchilla rotatoria, por lo que el elemento de detección gamma en el detector (10, 11) ha sido conformado y orientado para permitir que el campo de visión sea pequeño en la dirección necesaria para identificar los límites (41-46) de los estratos en la formación geológica, al tiempo que sea grande en la dirección paralela a los estratos de la formación geológica;

15 un acelerómetro (34) y un giroscopio (33), en el que el acelerómetro (34) y el giroscopio (33) correlacionan las emisiones gamma recibidas con posiciones, por lo menos, de dichas dos cuchillas rotatorias; y

20 un módulo central, en el que el módulo central utiliza las lecturas correlacionadas para determinar si se deberían desplazar las cuchillas.

25 2. Sistema de control de minería, según la reivindicación 1, en el que el módulo central compara lecturas correspondientes a posiciones de por lo menos dichas dos cuchillas rotatorias y determina el modo en el que se deberían desplazar por lo menos dichas dos cuchillas rotatorias para mantener la máquina minadora (48) alineada hacia arriba y hacia abajo con los estratos minerales (1-7) de la formación geológica.

30 3. Sistema de control de minería, según la reivindicación 1, en el que el módulo central transmite señales a cilindros hidráulicos para desplazar por lo menos dichas dos cuchillas rotatorias en una dirección requerida para guiar la máquina minadora (48) en el interior de la formación geológica.

35 4. Sistema de control de minería, según la reivindicación 1, que comprende además una pantalla (45) que presenta a un operario o a un monitor remoto los recuentos gamma con respecto a la orientación de la cuchilla.

40 5. Sistema de control de minería, según la reivindicación 1, en el que el campo de visión, para ser pequeño en la dirección necesaria para identificar los límites (41-46) de los estratos en la formación geológica, define una serie de segmentos de visión adyacentes que están dispuestos de tal manera que la circunferencia total de la cuchilla rotatoria está dividida en 75 a 100 segmentos y en el que la comparación de las emisiones gamma emitidas naturalmente desde cada segmento adyacente de visión permite que el módulo central distinga los límites de los estratos.

45 6. Sistema de control de minería, según la reivindicación 5, en el que el módulo central combina datos procedentes de segmentos seleccionados para calcular la calidad de una mena en la que se extrae mineral.

50 7. Sistema de control de minería, según la reivindicación 1, en el que cada detector gamma (10, 11) está montado en la cuchilla rotatoria correspondiente, por lo que cada detector gamma está situado a unos 28 cm (11 pulgadas) de una cara de la formación geológica que se está cortando mediante la cuchilla rotatoria.

55

60

65

70

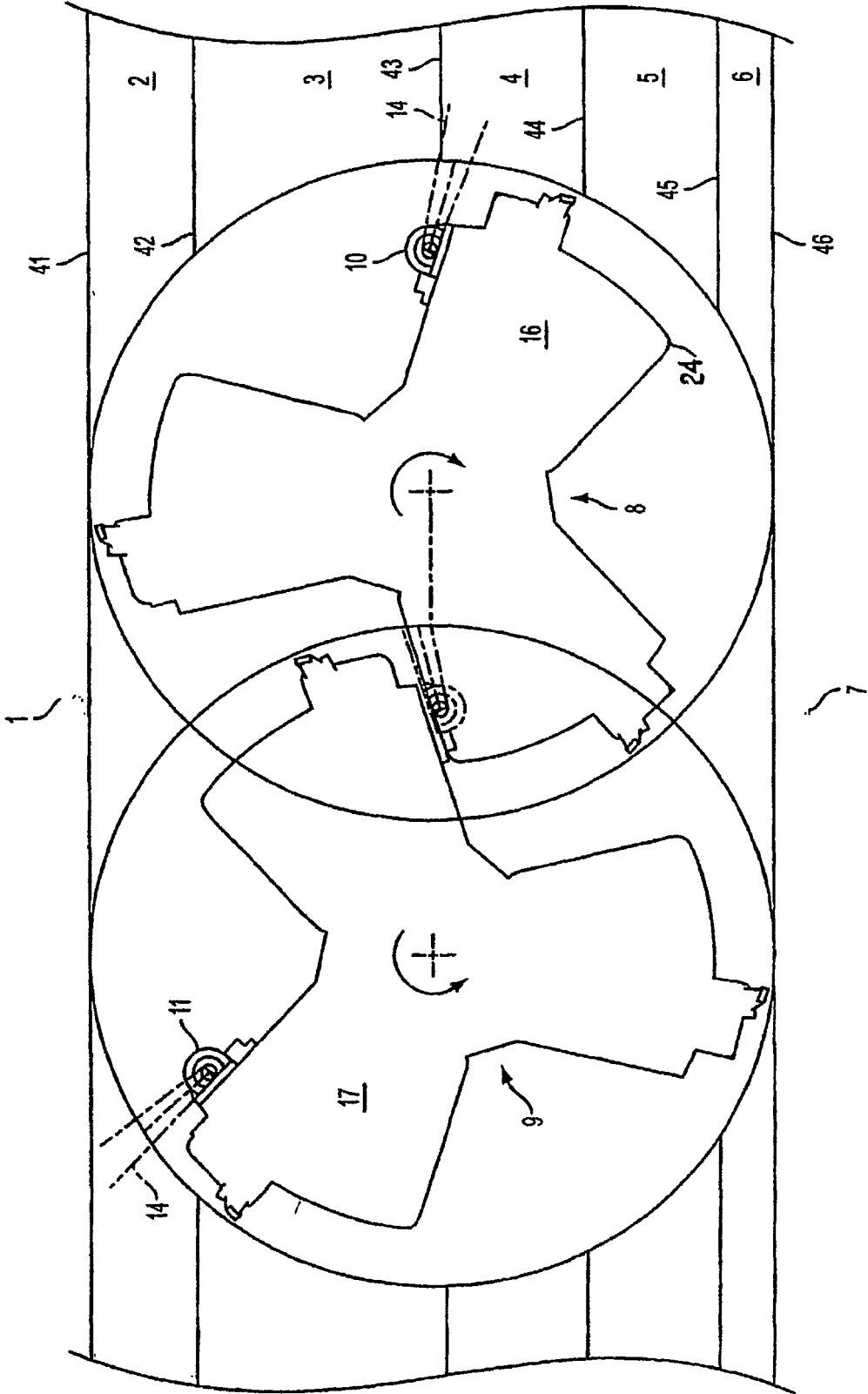


FIG. 1



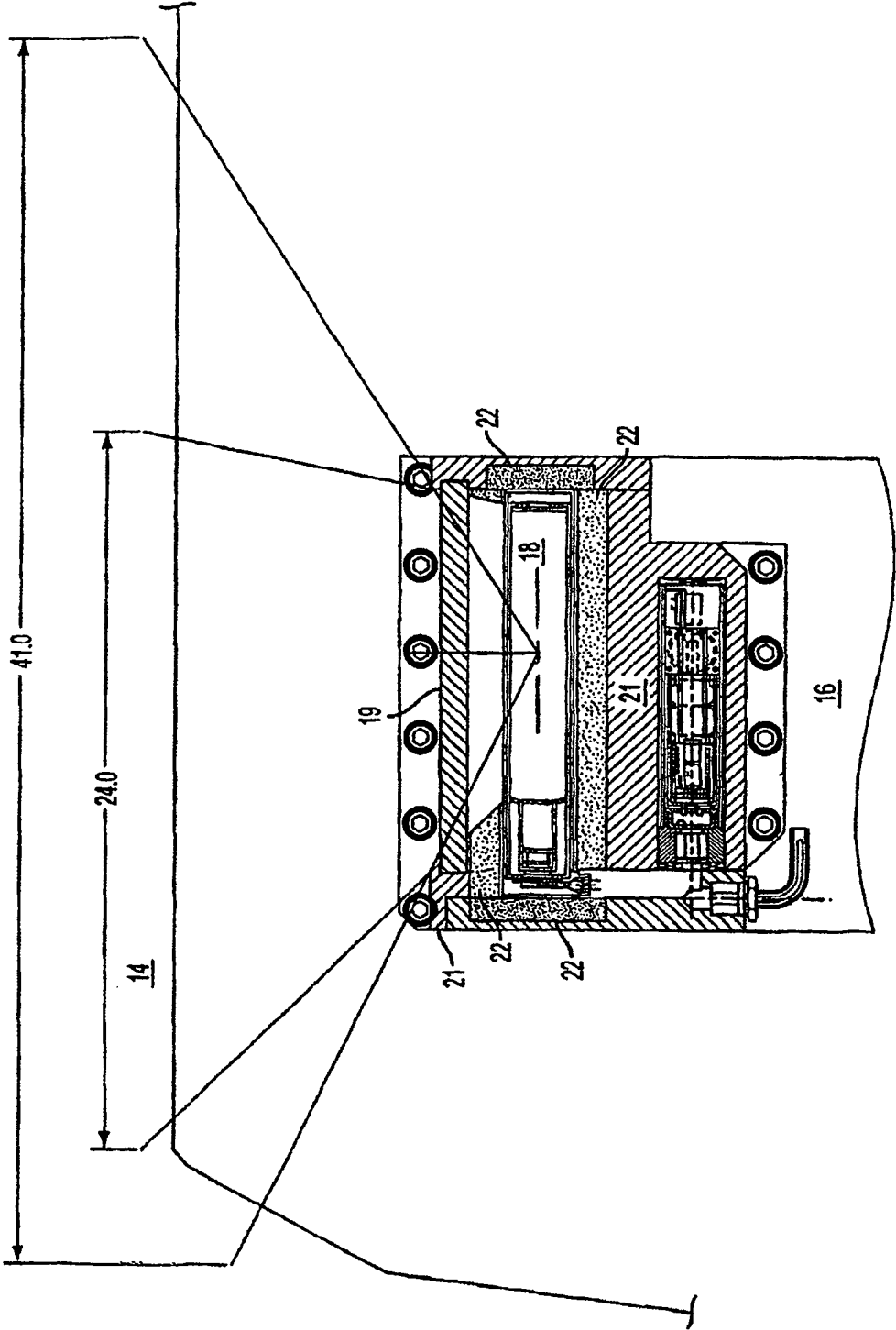
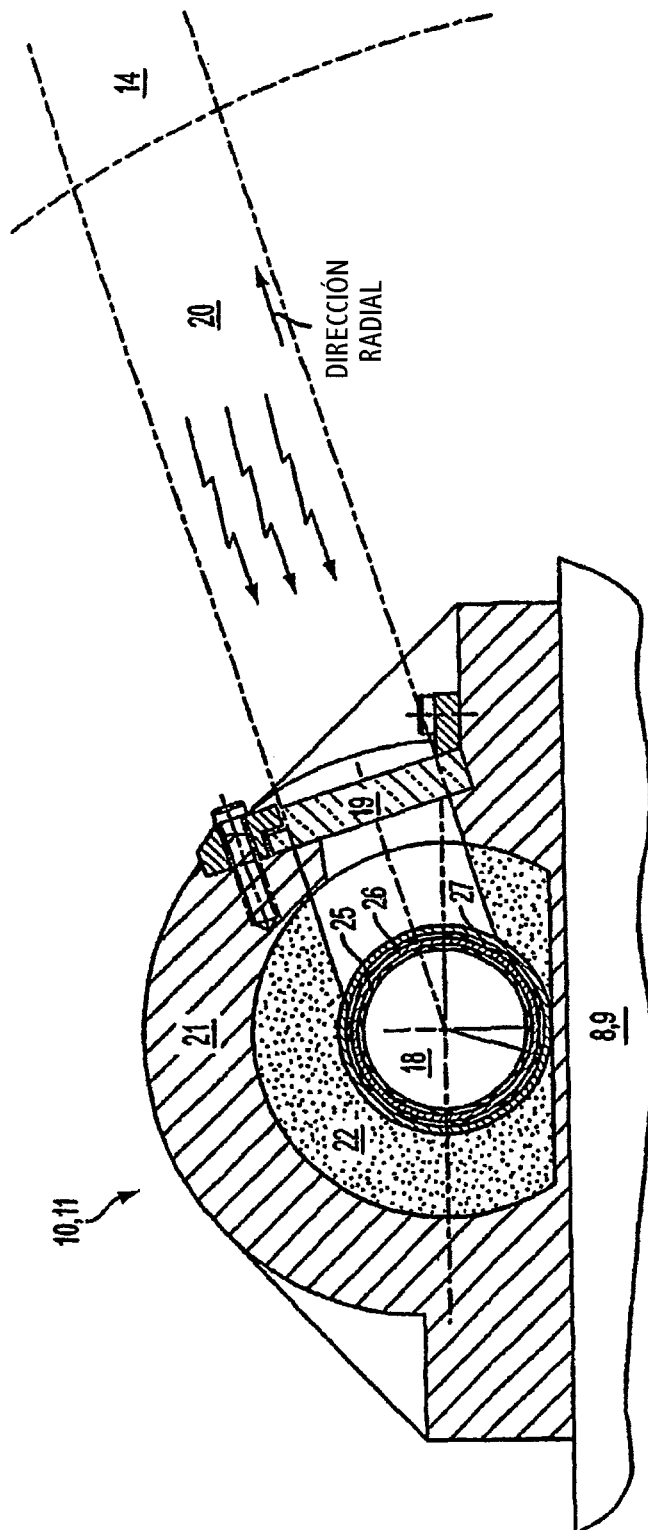


FIG. 3



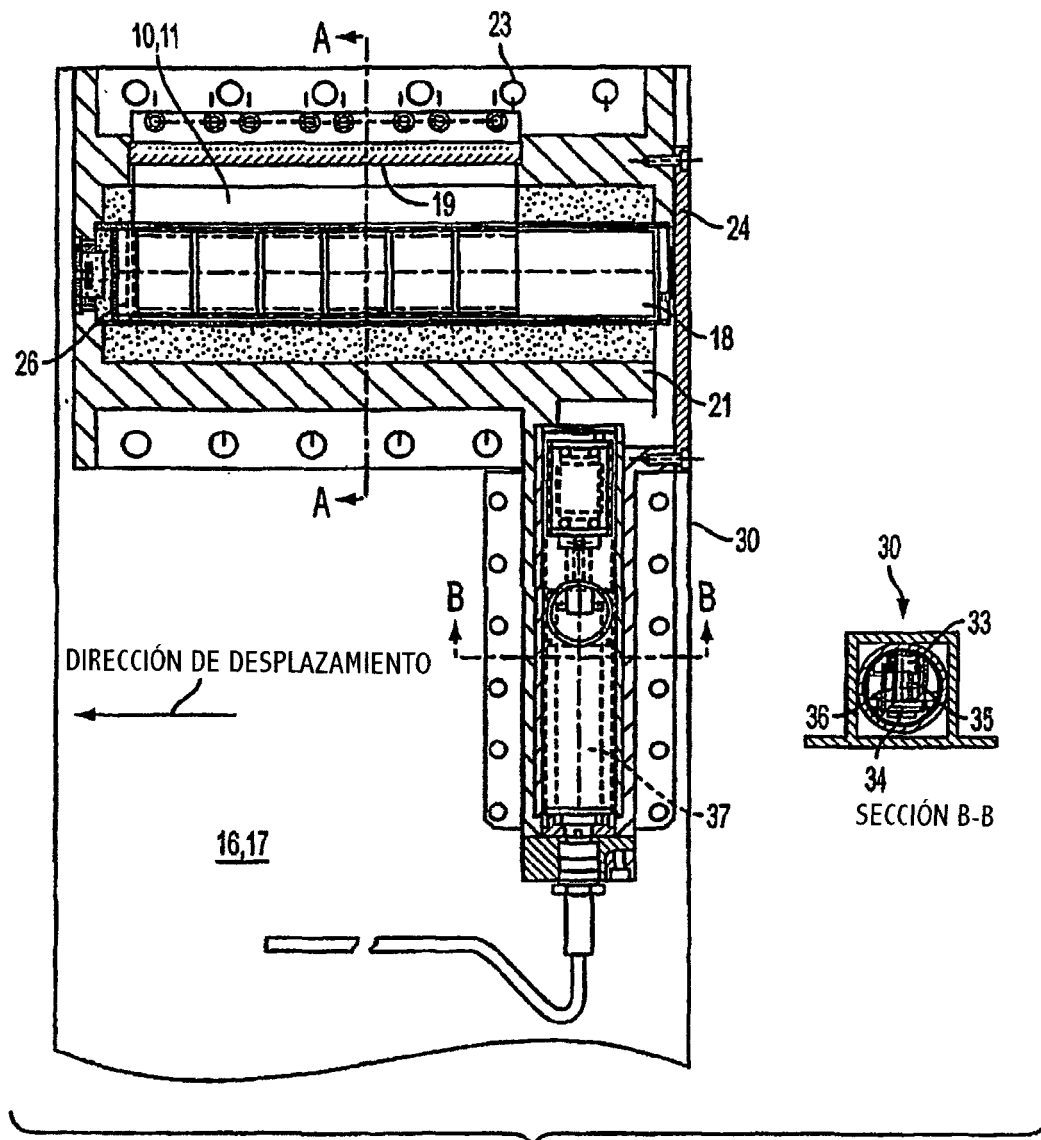


FIG. 5

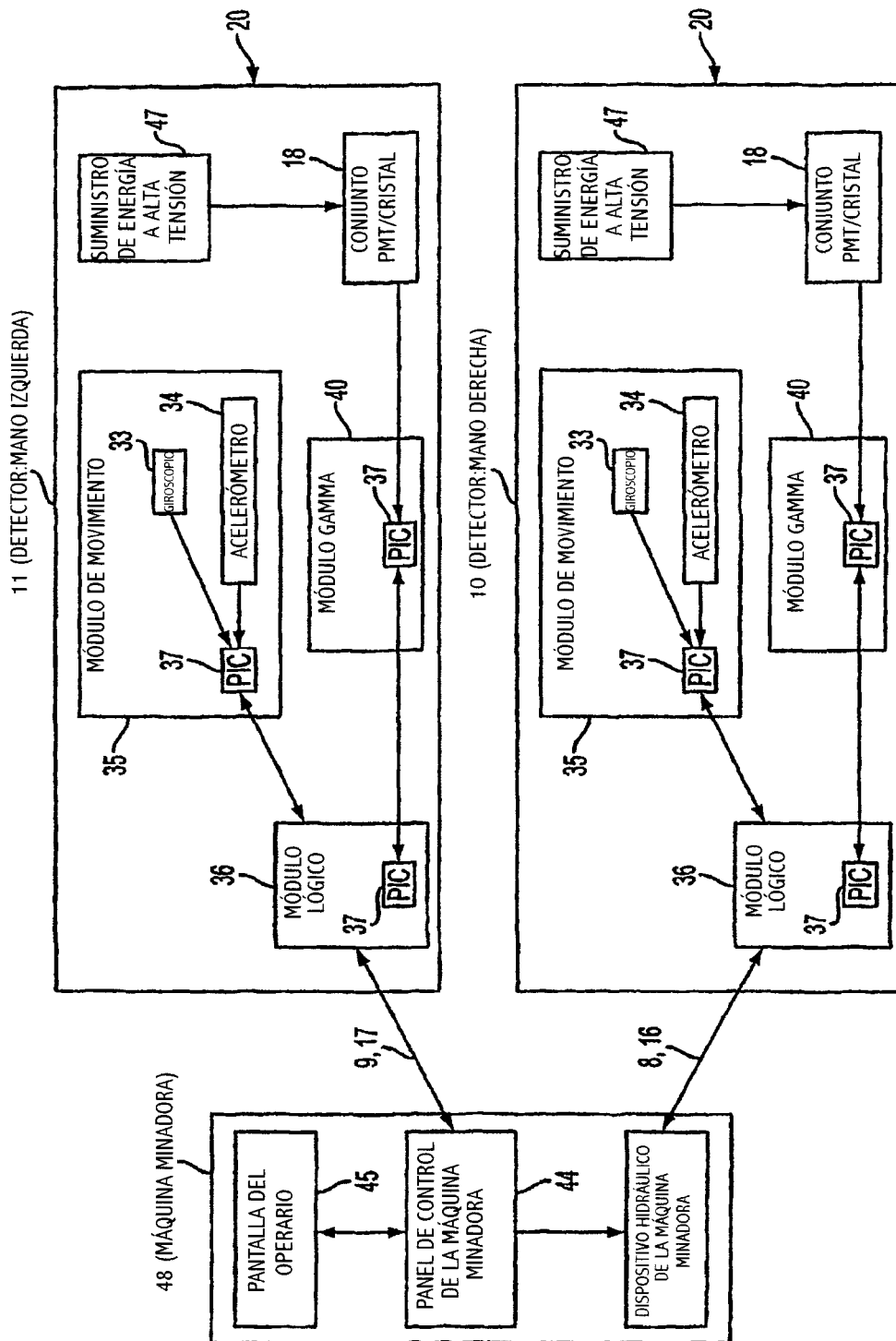


FIG. 6