

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 802**

21 Número de solicitud: 201030861

51 Int. Cl.:

**E21D 9/00** (2006.01)  
**G01C 15/00** (2006.01)  
**E21D 11/00** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**04.06.2010**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**31.10.2012**

Fecha de la concesión:

**28.08.2013**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**09.09.2013**

73 Titular/es:

**SACYR, S.A.U.**  
**PASEO DE LA CASTELLANA 83-85 PLANTA 5**  
**28046 MADRID (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**ESTEBAN HOYAS, Antonio;**  
**GONZÁLEZ JIMÉNEZ, Javier;**  
**RAMÍREZ RODRÍGUEZ, Antonio Angel;**  
**MATEOS ARMESTO, Francisco Javier;**  
**GALINDO ANDRADES, Cipriano;**  
**ARÉVALO ESPEJO, Vicente;**  
**BLANCO CLARACO, José Luis y**  
**MORENO DUEÑAS, Francisco A.**

74 Agente/Representante:

**ARPE FERNÁNDEZ, Manuel**

54 Título: **MÉTODO Y SISTEMA PARA REPLANTEO AUTOMÁTICO Y CONTINUO EN OBRAS DE EXCAVACIÓN/PERFORACIÓN DE UN TÚNEL Y PROGRAMA DE ORDENADOR PARA EJECUTAR DICHO MÉTODO.**

57 Resumen:

Método y sistema para replanteo automático y continuo en obras de excavación/perforación de un túnel y programa de ordenador para ejecutar dicho método.

Se propone un método para replantear sobre el frente de excavación (FE) de un túnel puntos de control representativos de la sección, recorrido y bóveda ideales del mismo. Sobre el frente de excavación se forman imágenes luminosas de marcado (IML) del perfil de túnel a excavar, proyectando luz láser sobre dicho frente; estas imágenes son calculadas y proyectadas basándose en la intersección entre una superficie mallada, modelada a partir de datos medidos, mediante escaneado láser, sobre puntos del frente de excavación (PPFE) y otra superficie mallada, modelada a partir de datos topográficos (DTP) previamente determinados a través del proyecto de excavación del túnel y que define la bóveda ideal o teórica de dicho túnel. Se proporciona un sistema (TCS) para medir, calcular y proyectar las imágenes permitiendo la ejecución del método.

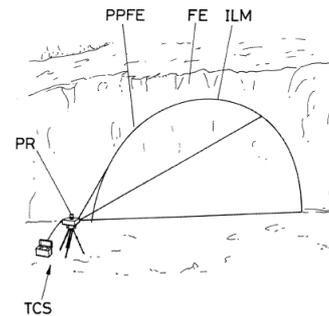


FIG.9

ES 2 389 802 B1

**DESCRIPCIÓN**

5            Método y sistema para replanteo automático y continuo en obras de excavación/perforación de un túnel y programa de ordenador para ejecutar dicho método.

Ámbito y técnica anterior

10

La invención se refiere de manera general a un método y a un sistema para el replanteo de puntos de control en obras de excavación/perforación de túneles.

El replanteo es una operación necesaria en cualquier obra de construcción para trasladar sobre el terreno de la manera más fielmente posible las dimensiones y formas indicadas en el proyecto técnico de la obra. En particular en la construcción de túneles, la operación de replanteo supone la  
15            señalización de manera material de puntos de apoyo, puntos de referencia y de control de la obra tanto en la bóveda como en los hastiales y en la rasante de la excavación.  
20

La operación de replanteo implica por una parte la localización sobre el terreno de los puntos de referencia que figuran en la documentación técnica de la obra y la posterior señalización material sobre el terreno de los puntos localizados.  
25

Aunque en la actualidad se encuentran disponibles las llamadas estaciones totales robotizadas incluso con capacidad de medir a sólido, es decir sin necesidad de prismas reflectores, que permiten la identificación  
30

automática de los puntos de referencia del proyecto y su señalización sobre el terreno mediante un puntero láser, la marcación de estos puntos se realiza con la ayuda de clavos metálicos y marcas de pintura para su  
5 utilización como referencias planimétricas y/o altimétricas para la obra.

El método operativo de replanteo actualmente utilizado, conforme se ha descrito anteriormente, presenta numerosos inconvenientes. En efecto los  
10 técnicos topógrafos calculan y marcan los puntos del arco de la bóveda, lo que de manera general exige la utilización de plataformas elevadoras, escaleras y estructuras de andamio que deben retirarse y/o desmontarse para efectuar la perforación, y ello de  
15 manera repetitiva a medida que la excavación del túnel progresa.

Estas tareas además de requerir intensivamente tiempo y mano de obra especializada así como la utilización de equipamiento auxiliar, resultan  
20 potencialmente peligrosas para los operarios que deben trabajar en altura para ejecutar materialmente las marcas de referencia. Además, como las marcas de pintura quedan borradas tan pronto como la maquinaria de excavación comienza a trabajar, pueden originarse  
25 sobre-excavaciones que para ser evitadas exigen la materialización de mayor número de puntos de control y de manera más frecuente.

#### Sumario de la invención

30

Partiendo del estado de la técnica precedentemente descrito, la invención se plantea como objetivo el

desarrollo de un método y un sistema de replanteo conforme se indicó en un principio que permitan solucionar los problemas planteados. La invención parte de la idea de formar sobre el frente de excavación o

5 frente de obra imágenes de marcado del perfil de túnel a excavar mediante la proyección de luz láser sobre dicho frente de obra, siendo dichas imágenes luminosas de marcado calculadas y proyectadas basándose en datos medidos sobre puntos del frente de excavación y datos

10 topográficos de la sección y recorrido del túnel previamente determinados a través del proyecto de excavación del túnel.

De acuerdo con la invención este objetivo se alcanza, en cuanto al método se refiere, a través de

15 las características indicadas en la reivindicación 1. Ventajas y objetivos adicionales del método se alcanzan a través de las características indicadas en las reivindicaciones de método dependientes.

El método conforme a la invención se caracteriza

20 porque sobre el frente de excavación se forman imágenes de marcado del perfil de túnel a excavar mediante la proyección de luz láser sobre dicho frente de excavación, siendo dichas imágenes luminosas de marcado calculadas y proyectadas basándose en la intersección

25 entre una superficie mallada poligonalmente, modelada a partir de datos medidos, mediante escáner láser, sobre puntos pertenecientes al frente de excavación y otra superficie también mallada poligonalmente modelada, a partir de los datos topográficos del proyecto de

30 excavación y que define la bóveda teórica o ideal del túnel.

Según una característica adicional de la invención, dicho método comprende etapas de:

- 5           - medición, mediante escáner láser, del frente de excavación para obtener un conjunto denso de puntos pertenecientes a dicho frente de excavación, estando expresado dicho conjunto denso de puntos mediante un primer conjunto de datos referidos a un sistema referencia de medición con origen en un punto de medición;
- 10           - adquisición de dicho primer conjunto de datos obtenido en la etapa de medición;
  - lectura desde un fichero de los datos topográficos del proyecto representativos del perfil y recorrido ideales del túnel;
- 15           - transformación de dichos datos topográficos del proyecto leídos al sistema de referencia de medición para obtener un segundo conjunto de datos transformados;
  - combinación del primer conjunto de datos
- 20           relativo a los puntos pertenecientes al frente de excavación obtenido en la etapa de medición con el segundo conjunto de datos relativos a los datos topográficos del proyecto obtenido en la etapa de transformación, para obtener la intersección entre una
- 25           superficie mallada poligonalmente, modelada a partir de dicho primer conjunto de datos y otra superficie también mallada poligonalmente, modelada a partir de dicho segundo conjunto de datos;
- 30           - desde un punto de proyección origen de un sistema de referencia de proyección, proyectar sobre el frente de excavación haces coherentes de luz láser para formar sobre dicho frente de excavación imágenes

luminosas de marcado representativas del perfil a  
excavar, siendo controlada la proyección de los haces  
de luz láser por información de control generada en una  
etapa de generación a partir de los datos resultantes  
5 de la citada intersección previamente transformados al  
sistema de referencia de proyección en una etapa de  
transformación adicional.

De acuerdo con una característica adicional de la  
invención resulta ventajoso que el mallado poligonal  
10 sea un mallado triangular.

Aún de acuerdo con una característica adicional de  
la invención el método incluye una etapa  
posicionamiento relativo de los sistemas de referencia  
de medición y proyección.

15 Conforme con otra característica adicional de la  
invención resulta ventajoso llevar a cabo la etapa de  
posicionamiento mediante técnicas de calibración de  
cámaras de visión por computador.

También de acuerdo con una característica  
20 adicional de la invención la etapa de posicionamiento  
se realiza mediante proyección de patrones de luz sobre  
puntos previamente levantados y aplicando técnicas de  
calibración de cámaras de visión por computador.

Además, de acuerdo con una característica  
25 adicional de la invención la imagen luminosa de marcado  
se proporciona como un arco o conjunto de puntos más o  
menos denso que bordea el exterior del túnel.

También de acuerdo con una característica  
adicional de la invención la imagen luminosa de marcado  
30 puede incluir información adicional contenida en los  
datos topográficos del proyecto de excavación del  
túnel.

Además de acuerdo con una característica adicional de la invención la información adicional incluida en la imagen luminosa de marcado puede ser el punto kilométrico de la excavación.

5           Aún de acuerdo con una característica adicional de la invención la imagen luminosa de marcado se forma con zonas de coloración diversa para indicar las diferencias de posición entre puntos pertenecientes al frente de excavación y puntos de control del perfil a  
10           excavar.

Otro objetivo de la invención es un sistema que permita ejecutar el método para replanteo automático en obras de excavación/perforación de un túnel. Este objetivo se alcanza a través de las características  
15           indicadas en la reivindicación independiente 11; otras ventajas y objetivos adicionales del sistema se alcanzan a través de las características indicadas en las reivindicaciones de sistema dependientes.

Conforme a la invención este sistema se  
20           caracteriza por que comprende:

- un subsistema de medición láser que mediante escaneado láser del frente de excavación permite obtener un conjunto denso de puntos pertenecientes a dicho frente de excavación, estando expresado dicho  
25           conjunto denso de puntos mediante un primer conjunto de datos referidos a un sistema referencia de medición con origen en un punto de medición;

- un subsistema de marcado continuo incluyendo un proyector láser que desde un punto de proyección origen  
30           de un sistema de referencia de proyección permite proyectar de manera continua sobre el frente de excavación una luz láser y formar sobre dicho frente de

excavación imágenes luminosas de marcado representativas del perfil de túnel a excavar; y

- un subsistema de control y procesamiento que comprende:

5 - medios de adquisición para adquirir el primer conjunto de datos de puntos pertenecientes a dicho frente de excavación obtenidos a través del sistema de medición láser;

10 - medios de lectura para leer desde un fichero los datos topográficos del proyecto de excavación de dicho túnel;

15 - medios de transformación para transformar al sistema de referencia de medición dichos datos topográficos del proyecto leídos, para así obtener un segundo conjunto de datos transformados;

20 - medios de combinación para combinar el primer conjunto de datos relativo a los puntos pertenecientes al frente de excavación obtenido con el subsistema de medición láser con el segundo conjunto de datos relativo a los datos topográficos del proyecto obtenido por los medios de transformación, para obtener la intersección entre una superficie mallada poligonalmente, modelada a partir de dicho primer conjunto de datos y otra superficie también mallada poligonalmente, modelada a partir de dicho segundo conjunto de datos;

- medios de transformación adicionales para transformar al sistema de referencia del subsistema de marcado los datos de dicha intersección; y

30 - medios de generación para generar información de control para el subsistema de marcado continuo a partir de los datos de dicha intersección transformados por

los medios de transformación adicionales, estando dicha información de control adaptada para control del proyector láser del subsistema de marcado continuo permitiendo así la proyección mediante dicho proyector  
5 láser de las imágenes luminosas de marcado.

De acuerdo con una característica adicional de la de la invención el subsistema de medición láser incluye un escáner que está montado para desplazarse con la ayuda de un dispositivo de motorización, ambos  
10 controlados por el subsistema de control y procesamiento para el barrido de la totalidad del frente de excavación.

También de conformidad con una característica adicional de la invención el escáner es un escáner de  
15 barrido radial, siendo el dispositivo de motorización una unidad giratoria dispuesta para mover verticalmente el escáner y así realizar el barrido de la totalidad del frente de excavación.

Aún de acuerdo con una característica adicional de  
20 la invención el subsistema de medición láser y el subsistema de marcado continuo están montados sobre una estructura fija.

Además de acuerdo con una característica adicional de la invención el subsistema de control y  
25 procesamiento se implementa como un ordenador de abordo.

Aún de acuerdo con una característica adicional de la invención el ordenador de abordo está previsto con capacidad de conexión inalámbrica para formar una red  
30 de comunicaciones inalámbricas con equipos de usuario remotos.

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención resultarán más claramente de la descripción que sigue  
5 realizada con la ayuda de los dibujos anexos, referidos a un ejemplo de ejecución no limitativo y en los que:

La figura 1 muestra un esquema de principio de un sistema para replanteo automático y continuo en obras de excavación de un túnel conforme a la invención.

10 La figura 2A es un detalle parcial del subsistema de medición láser, mostrando su escáner y su dispositivo de motorización.

La figura 2B ilustra un esquema del barrido del frente de excavación efectuado por medio del subsistema de medición láser de la figura 2B.  
15

La figura 3 muestra de manera esquemática el subsistema de marcado continuo proyectando una imagen luminosa sobre el frente de excavación.

Las figuras 4A y 4B muestran respectivos detalles de los subsistemas de medición láser y de marcado continuo montados sobre una estructura de bastidor.  
20

La figura 5 muestra un esquema del sistema de replanteo mostrando los bloques funcionales incluidos en el subsistema de control y procesamiento.

25 La figura 6 ilustra un esquema de red de comunicaciones inalámbricas para conexión remota de equipos de usuario con un sistema de replanteo conforme a la invención.

La figura 7 muestra un diagrama de tareas del método de replanteo conforme a la invención.  
30

La figura 8 ilustra de manera esquemática la intersección de una superficie mallada, modelada a

partir de los puntos medidos por el subsistema de medición y otra superficie mallada, modelada con el perfil ideal del túnel contenido en los datos topográficos del proyecto de excavación.

- 5           La figura 9 muestra de manera esquemática el posicionamiento del sistema de replanteo sobre un frente de excavación de un túnel.

Descripción detallada de una realización preferida

10

Como se muestra de manera esquemática en la figura 1, el sistema de replanteo designado en general como TCS (acrónimo de la expresión en lengua inglesa "TUNNEL CONTINUOUS SETOUT"), consta de un subsistema de medición

15   láser SML para obtener datos de puntos del frente de excavación mediante escáner láser, un sistema de marcado continuo SMC para marcar el perfil de excavación mediante proyección de luz láser sobre el frente de excavación y un subsistema de control y

20   procesamiento SCP para leer los datos topográficos del proyecto de excavación DTP contenidos en un fichero FI, realizar cálculos topográficos, procesar las medidas obtenidas a través del SML y para generar información de control IC para el subsistema de marcado continuo

25   SMC.

25

Conforme se muestra en la figura 2A, el subsistema de medición láser SML incluye un escáner de medición láser ES previsto como escáner de barrido radial que está montado para moverse verticalmente con la ayuda de

30   un dispositivo de motorización DM previsto como una unidad giratoria, ambos controlados por el subsistema de control y procesamiento SCP.

30

Como se muestra de manera esquemática en la figura 2B el escáner láser ES realiza un escaneo horizontal del frente de excavación FE, aquí representado de manera simplificada como un plano, y mediante la unidad giratoria DM dicho escáner ES puede desplazarse verticalmente y así realizar el barrido de la totalidad del frente de excavación FE.

Considerando valores típicos de equipos disponibles en el mercado, por ejemplo un escáner con una resolución angular de  $0,25^\circ$  se conseguirían medidas puntuales del frente de excavación de 13 cm correspondientes a la apertura  $a$  del haz láser para una distancia  $d$  entre el dispositivo de medición y el frente de excavación del orden de 30 m, siendo calculada dicha apertura mediante la expresión:

$$a = d \cdot \tan(0,25) \quad [1]$$

También mediante una unidad giratoria disponible en el mercado es posible desplazar el escáner de medición láser para realizar barridos transversales del frente de excavación con resoluciones elevadas, por ejemplo de  $0,1^\circ$ , de esta manera y considerando de nuevo la expresión [1] pueden realizarse escaneos verticales espaciados verticalmente 5 cm para una distancia  $d$  entre el dispositivo de medición y el frente de excavación del orden de 30 m. De esta manera, para un frente de excavación típico de 12 m de altura es posible la medición de un altísimo volumen de datos sobre puntos pertenecientes al frente de excavación PFFE, por así decir una nube o conjunto denso de puntos.

Debe mencionarse que en la figura 2B la separación horizontal y vertical entre los puntos escaneados por el subsistema de medición láser SML se indican como flechas de doble sentido.

5           Adicionalmente en la figura 2B se indica un punto de medición  $O_e$  que constituye el origen de un sistema de referencia de medición SRM para el subsistema de medición láser SML y respecto del cual se expresan los datos del conjunto denso de puntos pertenecientes al  
10 frente de excavación PFFE que han sido medidos.

          Como se muestra en la figura 3, el subsistema de marcado continuo SMC consta de un proyector láser PYL no mostrado en detalle que como se ha mencionado permite proyectar sobre el frente de excavación FE  
15 haces de luz coherente, para formar sobre dicho frente de excavación la imagen de marcado IML representativa del perfil a excavar tal y como será explicado en detalle más adelante. También puede verse que en esta figura 3 se indica un punto de proyección  $O_p$  que  
20 constituye el origen de un sistema de referencia de proyección SRP para el subsistema de marcado continuo SMC.

          En el mercado existen proyectores de luz láser muy versátiles que permiten controlar la potencia del láser  
25 imprescindible para su ajuste a las condiciones de baja luminosidad de un túnel que se está excavando y que tienen dispositivos de seguridad para prevenir efectos dañinos por efectos de la radiación láser sobre el personal de obra presente en la excavación. Se ha  
30 encontrado que a los propósitos de la invención es especialmente adecuado un proyector láser

monocromático, por ejemplo de luz verde con una potencia de 4,5 a 5 W.

5 Como puede verse a través de las figuras 4A a 4B el subsistema de medición láser SML y el subsistema de marcado continuo SMC se montan sobre una estructura fija EF en forma de bastidor que soporta adicionalmente un módulo para dispositivos eléctricos y electrónicos MDE tales como fuentes de alimentación eléctrica, sistemas de protección, enrutador WIFI y otros.

10 Haciendo ahora referencia al diagrama de bloques funcionales de la figura 5, puede verse que el subsistema de control y procesamiento SCP incluye unos medios de adquisición 1 que permiten adquirir el primer conjunto de datos CD1 de puntos pertenecientes a dicho frente de excavación PFFE obtenidos a través del sistema de medición láser SML. Adicionalmente dicho subsistema de control y procesamiento SCP incluye unos medios de lectura 2 que permiten leer desde un fichero FI los datos topográficos DTP del proyecto de excavación de dicho túnel; y unos medios de transformación 3 que permiten transformar al sistema de referencia de medición SRM dichos datos topográficos del proyecto leídos, para así obtener un segundo conjunto de datos transformados CD2.

25 También puede verse que el subsistema de control y procesamiento SCP incluye unos medios de combinación 4 que permiten combinar el primer conjunto de datos CD1 relativo a los puntos pertenecientes al frente de excavación PFFE obtenido con el subsistema de medición láser SML con el segundo conjunto de datos CD2 relativo a los datos topográficos del proyecto obtenido por los medios de transformación 3, para obtener la

30

intersección entre una superficie mallada poligonalmente, modelada a partir de dicho primer conjunto de datos CD1 y otra superficie también mallada poligonalmente, modelada a partir de dicho segundo conjunto de datos CD2.

Adicionalmente en el subsistema de control y procesamiento SCP están previstos unos medios de transformación adicionales 5 que permiten transformar al sistema de referencia SRP del subsistema de marcado continuo SMC los datos de dicha intersección; y unos medios de generación 6 que permiten generar información de control IC para el subsistema de marcado continuo SMC a partir de los datos de dicha intersección transformados por los medios de transformación adicionales 5.

La información de control IC está adaptada para controlar el proyector láser PYL del subsistema de marcado continuo SMC, permitiendo la proyección mediante dicho proyector láser PYL de las imágenes luminosas de marcado ILM.

Como será comprendido por las personas versadas en el arte, las mencionadas funcionalidades del subsistema de control y procesamiento SCP pueden implementarse en un ordenador de abordo, pudiendo ejecutarse los diferentes medios operativos relatados mediante hardware o software.

Haciendo referencia a la figura 6 el ordenador de abordo puede estar previsto con capacidad de conexión inalámbrica, de esta manera es posible formar una red de comunicaciones inalámbricas RCI con equipos de usuario EU remotos para permitir el acceso y control remotos del sistema de replanteo de túneles TCS.

Haciendo ahora referencia al diagrama de tareas mostrado en la figura 7 puede verse que el método para replanteo automático y continuo tiene un desarrollo conforme a lo siguiente:

- 5           - en una etapa de medición 11, mediante escáner láser, realizar una medición del frente de excavación para obtener un conjunto denso de puntos pertenecientes al frente de excavación PPFÉ, expresándose dicho conjunto denso de puntos mediante un primer conjunto de
- 10           datos CD1 referidos a un sistema referencia de medición SRM con origen en un punto de medición Oe;
- en una etapa de adquisición 12 adquirir dicho primer conjunto de datos obtenido en la etapa de medición;
- 15           - en una etapa de lectura 13, leer desde un fichero FI de los datos topográficos del proyecto DTP representativos del perfil y recorrido ideales del túnel y por ende de su bóveda ideal o teórica;
- en una etapa de transformación 14, transformar
- 20           dichos datos topográficos DTP del proyecto leídos al sistema de referencia de medición SRM para obtener un segundo conjunto de datos transformados CD2;
- en una etapa de combinación 15, combinar el primer conjunto de datos CD1 relativo a los puntos
- 25           pertenecientes al frente de excavación PPFÉ obtenido en la etapa de medición con el segundo conjunto de datos relativos a los datos topográficos del proyecto obtenido en la etapa de transformación 14, para obtener la intersección entre una superficie mallada
- 30           poligonalmente, modelada a partir de dicho primer conjunto de datos y otra superficie también mallada

poligonalmente, modelada a partir de dicho segundo conjunto de datos;

5 - desde un punto de proyección  $O_p$  origen de un sistema de referencia de proyección SRP, en una etapa de proyección 108, proyectar sobre el frente de excavación FE haces coherentes de luz láser para formar sobre dicho frente de excavación imágenes luminosas de marcado ILM representativas del perfil a excavar, siendo controlada la proyección de los haces de luz  
10 láser por información de control IC generada en una etapa de generación 107 a partir de los datos resultantes de la citada la intersección previamente transformados al sistema de referencia de proyección SRP en una etapa de transformación adicional 106.

15 Como se ha indicado previamente y como se representa esquemáticamente en la figura 8 conforme al método de la invención el conjunto denso de puntos obtenido en la etapa de medición y el perfil ideal del túnel se modelan como respectivas superficies malladas  
20 poligonalmente, por ejemplo triangularmente de cuya intersección resulta una lista de segmentos unidos de manera que la imagen luminosa de marcado ILM es un arco o un pluralidad de puntos más o menos densa que bordea el exterior del túnel. Adicionalmente esta imagen  
25 luminosa de marcado IML puede incluir información adicional contenida en los datos topográficos DTP del proyecto de excavación del túnel, tal como por ejemplo un punto kilométrico de la excavación.

Aún cuando no se representa, conforme al método de  
30 la invención la imagen luminosa de marcado IML puede formarse con zonas de coloración diversa para indicar las diferencias de posición entre puntos pertenecientes

al frente de excavación PFFE y puntos de control predeterminados del proyecto de excavación del túnel.

5 Debe mencionarse adicionalmente que el método incluye una etapa de posicionamiento para el posicionamiento relativo de los sistemas de referencia de medición SRM y de proyección SRP. Puesto que estos sistemas de referencia SRM y SRP tienen origen en respectivos puntos de medición  $O_e$  y de proyección  $O_p$  diferentes, su posición y orientación relativa debe ser  
10 calibrada, pero solamente una vez dado que después se fijan cuando el subsistema de medición láser SML y el subsistema de marcado continuo SMC se fijan en la estructura EF.

15 Esta etapa de posicionamiento, es decir la posición y orientación tridimensional del conjunto sistema-de-medición/sistema-de-proyección SRM-SRP, se lleva a cabo mediante proyección de puntos de control sobre el frente de excavación que son levantados topográficamente mediante estaciones de medición sin  
20 prisma. Una vez conocidas estas coordenadas absolutas para un número suficiente de puntos de control, y mediante algoritmos que ajustan el modelo de proyección a estas coordenadas absolutas, se determinan los 6 grados de libertad del conjunto subsistema de medición  
25 láser SML-Subsistema de marcado continuo SMC, esto es, 3 posiciones y 3 ángulos de orientación y todo de manera similar a la técnicas de calibración de cámaras en visión por computador que no se describen aquí de manera detallada.

30 Como resultará fácilmente comprendido por las personas versadas en el arte, lo anteriormente descrito es meramente ilustrativo de un modo de realización

preferido de la invención de modo que son posibles modificaciones técnicas de toda índole, sin por ello apartarse del alcance de las siguientes reivindicaciones.

LISTADO DE REFERENCIAS:

	TCS:	Sistema de replanteo continuo;
	SML:	Subsistema de medición láser;
5	ES:	Escáner de SML;
	DM:	Dispositivo motorización de SML;
	SRM:	Sistema referencia de medición;
	Oe:	Punto origen de medición;
	SMC:	Subsistema de marcado continuo;
10	PYL:	Proyector del SMC;
	SRP:	Sistema de referencia de proyección;
	Op:	Punto origen de proyección;
	IC:	Información control PYL;
	FE:	Frente de excavación;
15	PPFE:	Puntos pertenecientes a frente excavación;
	DTP:	Datos topográficos proyecto de excavación;
	FI:	Fichero DTP;
	CD1:	Datos adquiridos por SML;
	CD2:	Datos DTP transformados;
20	ILM:	Imagen luminosa de marcado;
	RCI:	Red de comunicaciones inalámbricas;
	EU:	Equipo de usuario;
	1:	Medios de adquisición datos desde SML;
	2:	Medios de lectura de DTP;
25	3:	Medios de transformación de DTP;
	4:	Medios de combinación-intersección;
	5:	Medios de transformación datos intersección
	6:	Medios de generación de IC;
	11:	Etapa de medición por SML;
30	12:	Etapa de adquisición datos medidos por SML;
	13:	Etapa de lectura FI;
	14:	Etapa de transformación de DTP;

## ES 2 389 802 B1

- 15: Etapa de combinación;
- 16: Etapa de transformación adicional;
- 17: Etapa de generación;
- 18: Etapa de proyección.

**REIVINDICACIONES**

1.- Método para replanteo automático y continuo en obras de excavación/perforación de un túnel para replantear sobre el frente de excavación (FE) puntos de control representativos de la sección, recorrido y bóveda ideales o teóricos del túnel predeterminados a través de los datos topográficos (DTP) de un proyecto de excavación de dicho túnel, en el que sobre el frente de excavación se forman imágenes de marcado (IML) del perfil de túnel a excavar mediante la proyección de luz láser sobre dicho frente de excavación, siendo dichas imágenes luminosas de marcado calculadas y proyectadas basándose en la intersección entre una superficie mallada poligonalmente, modelada a partir de datos medidos, mediante escáner láser, sobre puntos pertenecientes al frente de excavación (PPFE) y otra superficie mallada poligonalmente, modelada a partir de los datos topográficos (DTP) previamente determinados a través del proyecto de excavación del túnel y que define la bóveda ideal o teórica de dicho túnel.

2.- Método de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado por que comprende etapas de:

- medición (11), mediante escáner láser, del frente de excavación para obtener un conjunto denso de puntos pertenecientes a dicho frente de excavación (PPFE), estando expresado dicho conjunto denso de puntos mediante un primer conjunto de datos (CD1) referidos a un sistema referencia de medición (SRM) con origen en un punto de medición (Oe);

- adquisición (12) de dicho primer conjunto de datos obtenido en la etapa de medición;

- lectura (13) desde un fichero (FI) de los datos topográficos del proyecto (DTP) representativos del perfil y recorrido ideales del túnel;

5 - transformación (14) de dichos datos topográficos (DTP) del proyecto leídos al sistema de referencia de medición (SRM) para obtener un segundo conjunto de datos transformados (CD2);

10 - combinación (15) del primer conjunto de datos (CD1) relativo a los puntos pertenecientes al frente de excavación (PPFE) obtenido en la etapa de medición con el segundo conjunto de datos (CD2) relativo a los datos topográficos del proyecto obtenido en la etapa de transformación (14), para obtener la intersección entre una superficie mallada poligonalmente, modelada a  
15 partir de dicho primer conjunto de datos (CD1) y otra superficie también mallada poligonalmente, modelada a partir de dicho segundo conjunto de datos (CD2);

20 - desde un punto de proyección (Op) origen de un sistema de referencia de proyección (SRP), proyectar (18) sobre el frente de excavación (FE) haces coherentes de luz láser para formar sobre dicho frente de excavación imágenes luminosas de marcado (ILM) representativas del perfil a excavar, siendo controlada la proyección de los haces de luz láser por información  
25 de control (IC) generada en una etapa de generación (17) a partir de los datos resultantes de la citada la intersección previamente transformados al sistema de referencia de proyección (SRP) en una etapa de transformación adicional (16).

30 3. Método de acuerdo con las reivindicaciones precedentes caracterizado porque el mallado poligonal es de preferencia un mallado triangular.

4. Método de acuerdo las reivindicaciones precedentes caracterizado por que incluye una etapa de posicionamiento para posicionamiento relativo de los sistemas de referencia de medición y proyección (SRM, 5 SRP).

5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por que la etapa de posicionamiento se lleva a cabo mediante técnicas de calibración de cámaras de visión por computador.

10 6. Método de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por que la etapa de posicionamiento se realiza mediante proyección de patrones de luz sobre puntos previamente levantados y aplicando técnicas de calibración de cámaras de visión por computador.

15 7. Método de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la imagen luminosa de marcado (IML) es un arco continuo o secuencia de puntos que bordea el exterior del túnel.

20 8. Método de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones precedentes caracterizado por que la imagen luminosa de marcado (IML) incluye información adicional contenida en los datos topográficos (DTP) del proyecto de excavación del túnel.

25 9. Método de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado por que la información adicional incluida en la imagen luminosa de marcado es un punto kilométrico de la excavación.

30 10. Método de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 7 a 9 caracterizado por que la imagen luminosa de marcado se forma con zonas de coloración diversa para indicar las diferencias de posición entre

puntos pertenecientes al frente de excavación (PPFE) y puntos de control del perfil a excavar.

11. Sistema para replanteo automático en obras de excavación/perforación de un túnel para ejecutar el  
5 método conforme a las reivindicaciones 1 a 10 caracterizado dicho sistema (TCS) por que comprende:

- un subsistema de medición láser (SML) que mediante escaneado láser del frente de excavación permite obtener un conjunto denso de puntos  
10 pertenecientes a dicho frente de excavación (PPFE), expresándose dicho conjunto denso de puntos mediante un primer conjunto de datos (CD1) referidos a un sistema referencia de medición (SRM) con origen en un punto de medición (Oe);

15 - un subsistema de marcado continuo (SMC) incluyendo un proyector láser (PYL) que desde un punto de proyección (Op) origen de un sistema de referencia de proyección (SRP) permite proyectar de manera continua sobre el frente de excavación una luz láser y  
20 formar sobre dicho frente de excavación imágenes luminosas de marcado (ILM) representativas del perfil de túnel a excavar; y

- un subsistema de control y procesamiento (SCP) que comprende:

25 - medios de adquisición (1) para adquirir el primer conjunto de datos (CD1) de puntos pertenecientes a dicho frente de excavación (PPFE) obtenidos a través del sistema de medición láser (SML);

30 - medios de lectura (2) para leer desde un fichero (FI) los datos topográficos (DTP) del proyecto de excavación de dicho túnel;

- medios de transformación (3) para transformar al sistema de referencia de medición (SRM) dichos datos topográficos del proyecto leídos, para así obtener un segundo conjunto de datos transformados (CD2);

5           - medios de combinación (4) para combinar el primer conjunto de datos (CD1) relativo a los puntos pertenecientes al frente de excavación (PPFE) obtenido con el subsistema de medición láser con el segundo conjunto de datos (CD2) relativo a los datos  
10 topográficos del proyecto obtenido por los medios de transformación (3), para obtener la intersección entre una superficie mallada poligonalmente, modelada a partir de dicho primer conjunto de datos (CD1) y otra malla superficie también mallada poligonalmente,  
15 modelada a partir de dicho segundo conjunto de datos (CD2);

- medios de transformación adicionales (5) para transformar al sistema de referencia de proyección (SRP) del subsistema de marcado continuo (SMC) los  
20 datos de dicha intersección; y

- medios de generación (6) para generar información de control (IC) para el subsistema de marcado continuo (SMC) a partir de los datos de dicha intersección transformados por los medios de  
25 transformación adicionales (5), estando dicha información de control adaptada para control del proyector láser (PYL) del subsistema de marcado continua (SMC) permitiendo así la proyección mediante dicho proyector láser (PYL) de las imágenes luminosas  
30 de marcado (ILM).

12. Sistema de acuerdo con la reivindicación 11 caracterizado por que el subsistema de medición láser

(SML) incluye un escáner (ES) que está montado para desplazarse sobre un dispositivo de motorización (DM) ambos controlados por el subsistema de control y procesamiento (SCP) para el barrido de la totalidad del frente de excavación (FE).

13. Sistema de acuerdo con la reivindicación 12 caracterizado por que el escáner (ES) es un escáner de barrido radial, siendo el dispositivo de motorización (DM) una unidad giratoria dispuesta para mover verticalmente el escáner y así realizar el barrido de la totalidad del frente de excavación (FE).

14. Sistema de acuerdo al menos una de las reivindicaciones 11 a 13 caracterizado porque el subsistema de medición láser (SML) y el subsistema de marcado continuo (SMC) están montados sobre una estructura fija (EF).

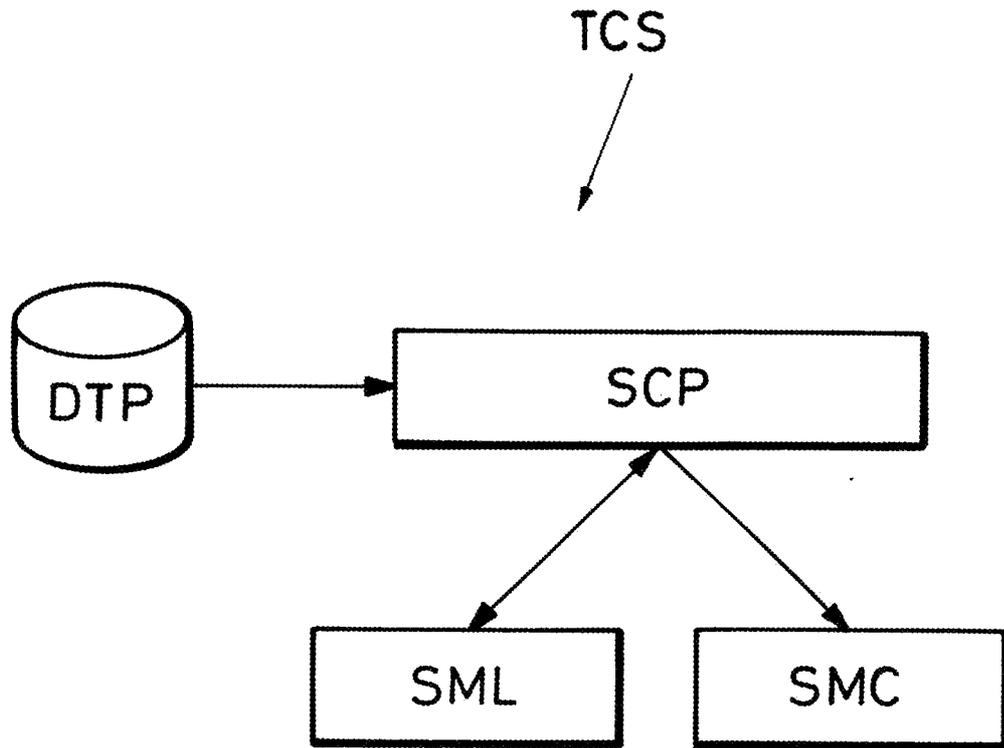
15. Sistema de acuerdo con la reivindicación 14 caracterizado porque la estructura fija (EF) lleva montados prismas reflectores (PR) que permiten el posicionamiento mediante técnicas topográficas.

16. Sistema de acuerdo con la reivindicación 11 caracterizado porque el subsistema de control y procesamiento (SCP) se implementa como un ordenador de abordo.

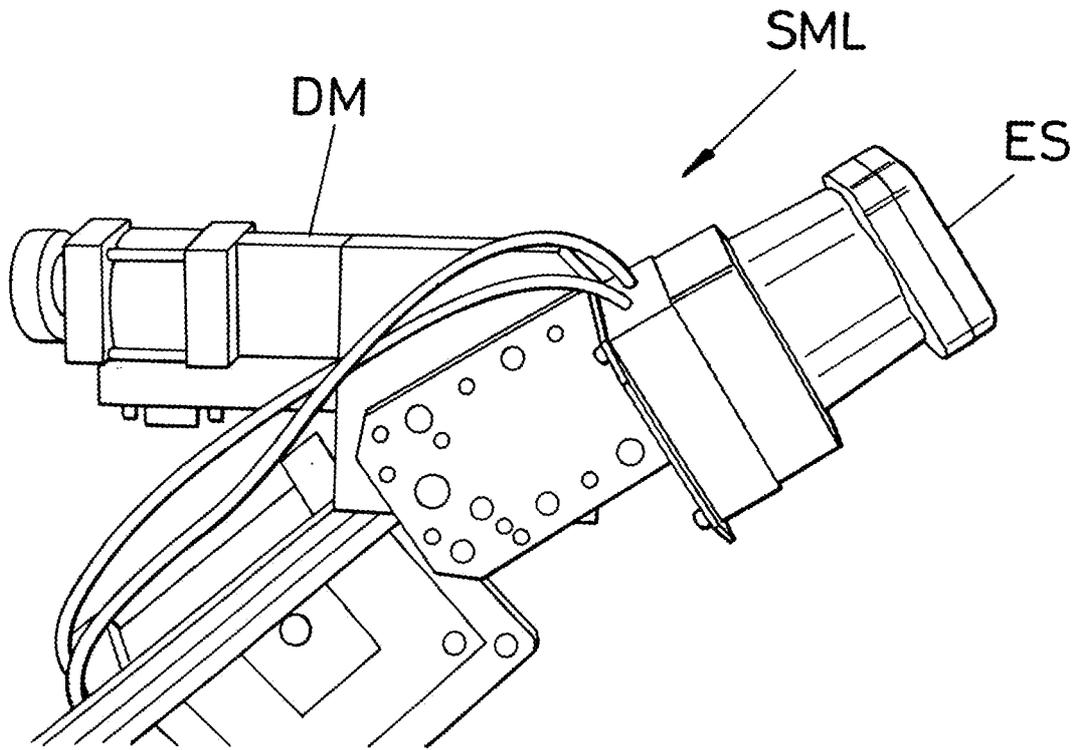
17. Sistema de acuerdo con la reivindicación 16, caracterizado por que el ordenador de abordo está previsto con capacidad de conexión inalámbrica para formar una red de comunicaciones inalámbricas (RCI) con equipos de usuario (EU) remotos.

18. Programa de ordenador que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución de al menos una de las etapas del método de acuerdo las

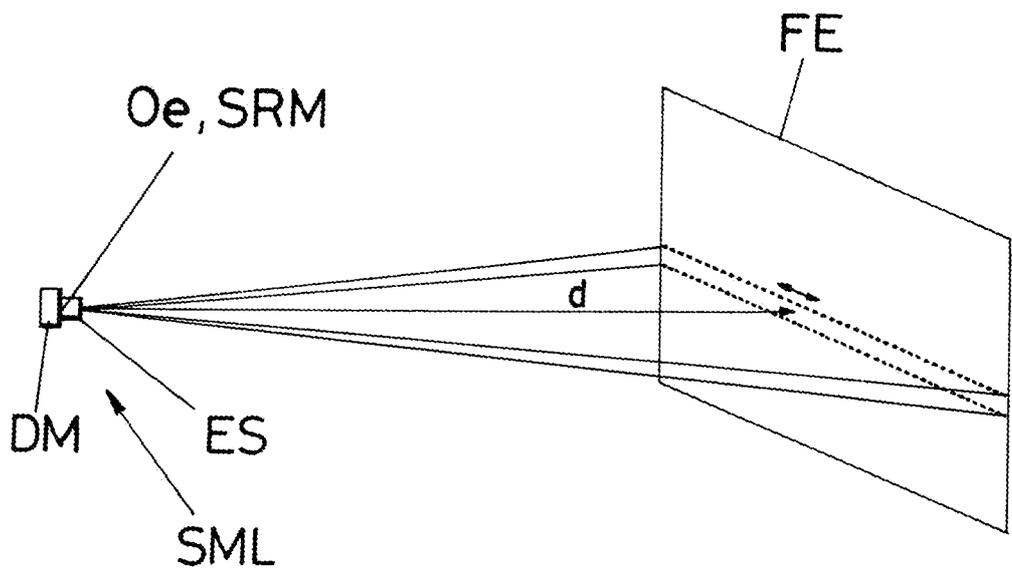
reivindicaciones 1 a 10, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.



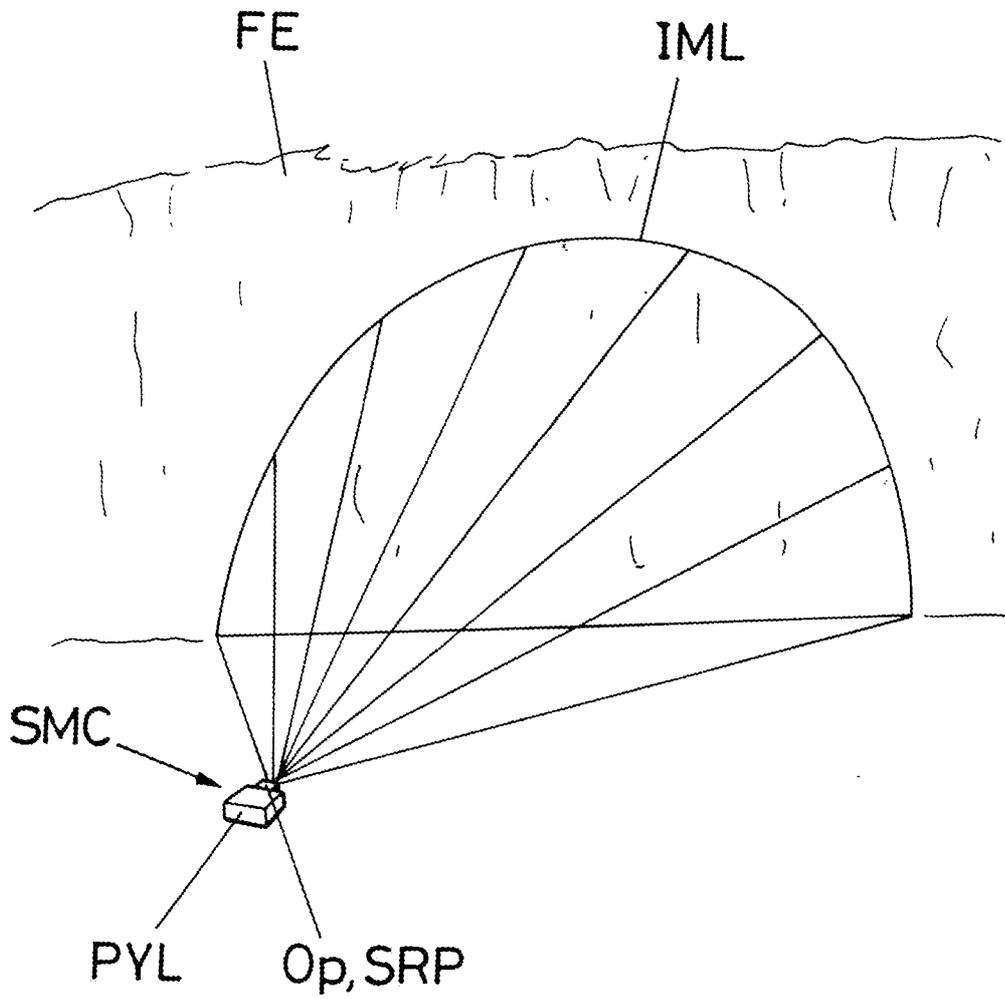
**FIG.1**



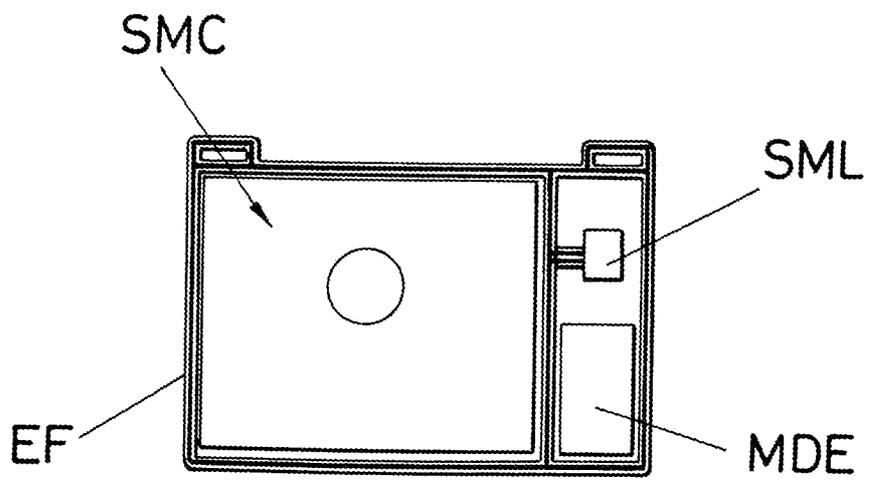
**FIG. 2A**



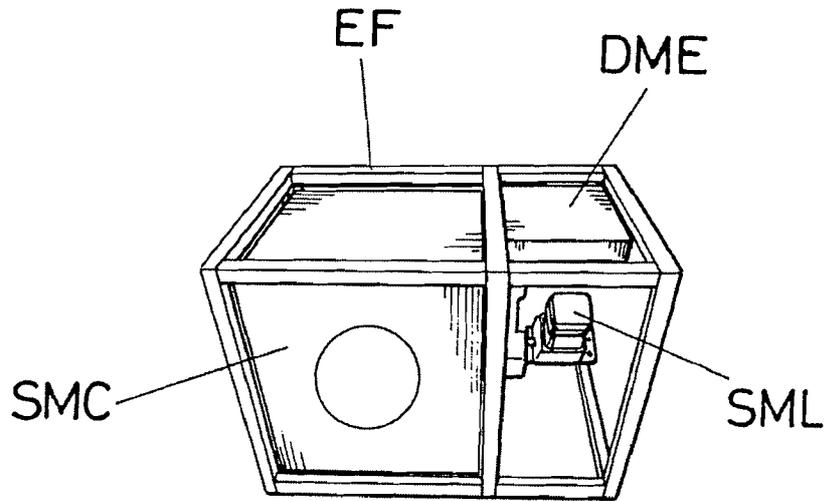
**FIG. 2B**



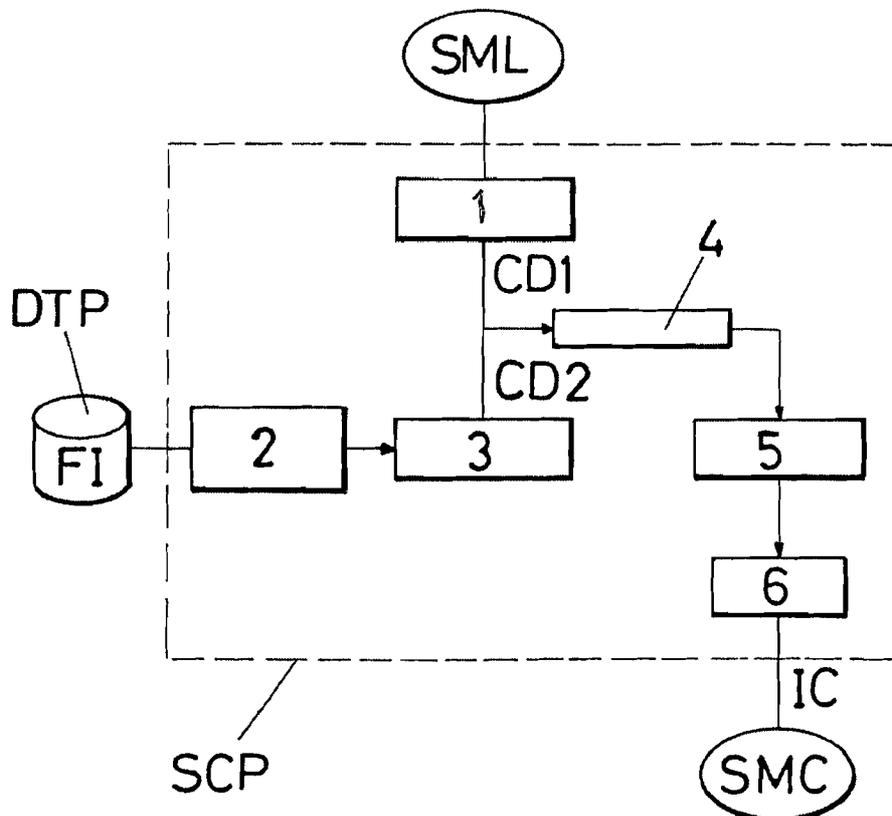
**FIG. 3**



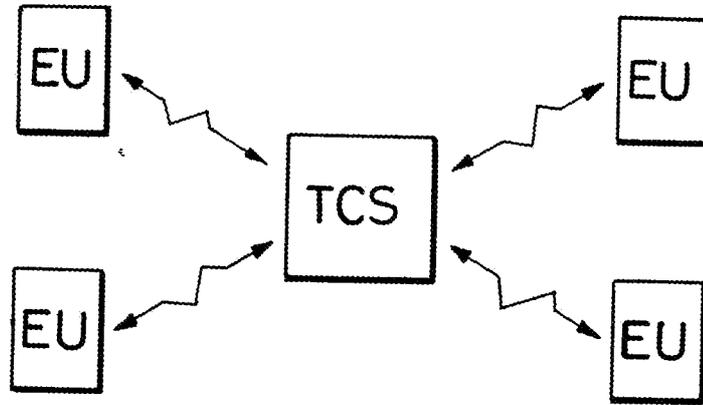
**FIG. 4A**



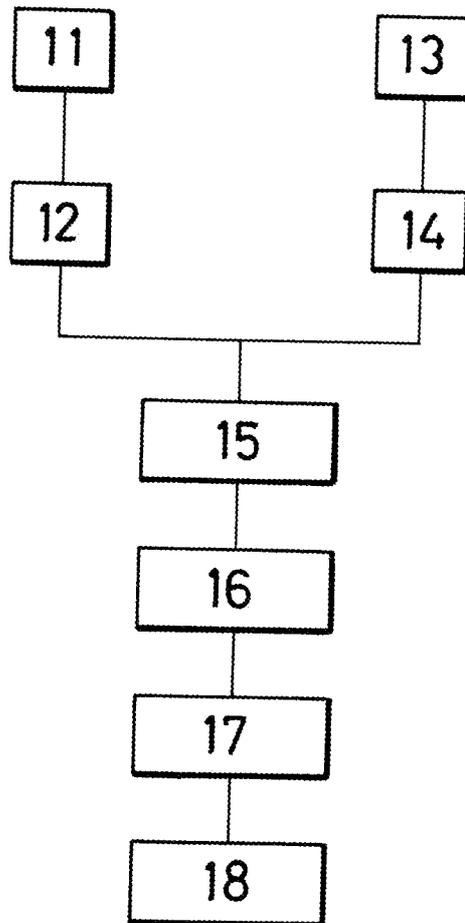
**FIG. 4B**



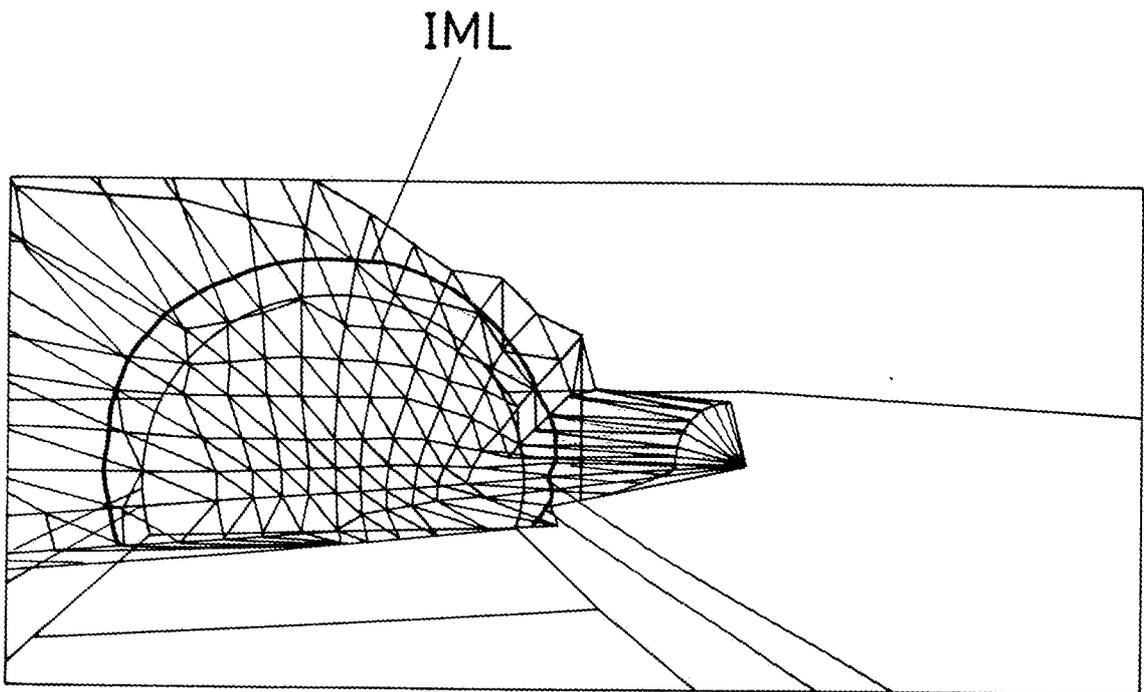
**FIG. 5**



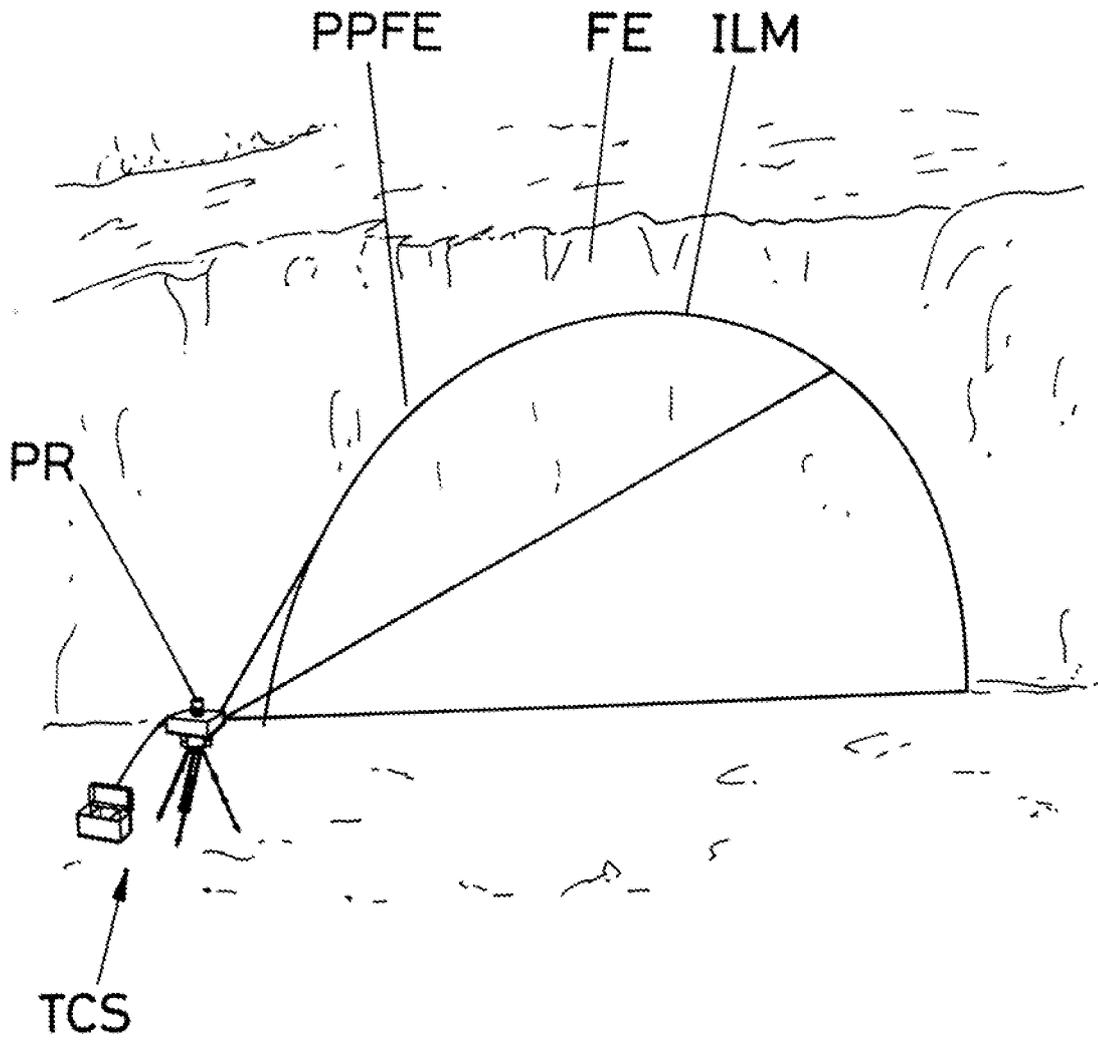
**FIG.6**



**FIG.7**



**FIG.8**



**FIG.9**



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201030861

②② Fecha de presentación de la solicitud: 04.06.2010

③② Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	JP 10317874 A (MAC KK) 02.12.1998	1,11
A	DE 4420705 A1 (KELLER GRUNDBAU GMBH ) 21.12.1995	1,11
A	EP 0472396 A1 (ELOPTRO PTY LTD) 26.02.1992	1,11
A	US 4367021 A (NORDGREN BO G et al.) 04.01.1983	1,11

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe  
18.10.2012

Examinador  
M. C. González Vasserot

Página  
1/4

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**E21D9/00** (2006.01)  
**G01C15/00** (2006.01)  
**E21D11/00** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

E21D, G01C

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 18.10.2012

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-18	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-18	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	JP 10317874 A (MAC KK)	02.12.1998
D02	DE 4420705 A1 (KELLER GRUNDBAU GMBH)	21.12.1995
D03	EP 0472396 A1 (ELOPTRO PTY LTD)	26.02.1992
D04	US 4367021 A (NORDGREN BO G et al.)	04.01.1983

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. Así, la invención reivindicada se considera que cumple los requisitos de novedad, actividad inventiva y aplicación industrial.

1.- El objeto de la presente solicitud de patente consiste en un método y sistema para replanteo automático y continuo en obras de excavación/perforación de un túnel y programa de ordenador para ejecutar dicho método. Se propone un método para replantear sobre el frente de excavación de un túnel puntos de control representativos de la sección, recorrido y bóveda ideales del mismo. Sobre el frente de excavación se forman imágenes luminosas de marcado del perfil de túnel a excavar, proyectando luz láser sobre dicho frente; estas imágenes son calculadas y proyectadas basándose en la intersección entre una superficie mallada, modelada a partir de datos medidos, mediante escaneado láser, sobre puntos del frente de excavación y otra superficie mallada, modelada a partir de datos topográficos previamente determinados a través del proyecto de excavación del túnel y que define la bóveda ideal o teórica de dicho túnel. Se proporciona un sistema para medir, calcular y proyectar las imágenes permitiendo la ejecución del método.

2.- El problema planteado por el solicitante es salvar estos inconvenientes. En efecto los técnicos topógrafos calculan y marcan los puntos del arco de la bóveda, lo que de manera general exige la utilización de plataformas elevadoras, escaleras y estructuras de andamio que deben retirarse o desmontarse para efectuar la perforación, y ello de manera repetitiva a medida que la excavación del túnel progresa. Estas tareas además de requerir intensivamente tiempo y mano de obra especializada así como la utilización de equipamiento auxiliar, resultan potencialmente peligrosas para los operarios que deben trabajar en altura para ejecutar materialmente las marcas de referencia. Además, como las marcas de pintura quedan borradas tan pronto como la maquinaria de excavación comienza a trabajar, pueden originarse sobre-excavaciones que para ser evitadas exigen la materialización de mayor número de puntos de control y de manera más frecuente.

En el método conforme a la solicitud de invención se forman imágenes de marcado del perfil de túnel a excavar sobre el frente de excavación mediante la proyección de luz láser sobre dicho frente de excavación, siendo dichas imágenes luminosas de marcado calculadas y proyectadas basándose en la intersección entre una superficie mallada poligonalmente, modelada a partir de datos medidos, mediante escáner láser, sobre puntos pertenecientes al frente de excavación y otra superficie también mallada poligonalmente modelada, a partir de los datos topográficos del proyecto de excavación y que define la bóveda teórica o ideal del túnel.

El documento D1 puede considerarse como el representante del estado de la técnica más cercano ya que en este documento confluyen la mayoría de las características técnicas reivindicadas.

**Análisis de las reivindicaciones independientes 1,11**

D1 se diferencia del documento de solicitud de patente en el que sobre el frente de excavación se forman imágenes de marcado (IML) del perfil de túnel a excavar mediante la proyección de luz láser sobre dicho frente de excavación, pero dichas imágenes luminosas de marcado no son calculadas ni proyectadas basándose en la intersección entre una superficie mallada poligonalmente, modelada a partir de datos medidos, mediante escáner láser, sobre puntos pertenecientes al frente de excavación y otra superficie mallada poligonalmente, modelada a partir de los datos topográficos previamente determinados a través del proyecto de excavación del túnel y que define la bóveda ideal o teórica de dicho túnel.

La reivindicación 1 es nueva (Art. 6.1 LP 11/1986) y tiene actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986).

D1 tampoco tiene medios de combinación para combinar el primer conjunto de datos relativo a los puntos pertenecientes al frente de excavación obtenido con el subsistema de medición láser con el segundo conjunto de datos relativo a los datos topográficos del proyecto obtenido por los medios de transformación, para obtener la intersección entre una superficie mallada poligonalmente, modelada a partir de dicho primer conjunto de datos y otra malla superficie también mallada poligonalmente, modelada a partir de dicho segundo conjunto de datos, ni tiene medios de transformación adicionales para transformar al sistema de referencia de proyección del subsistema de marcado continuo los datos de dicha intersección; ni medios de generación para generar información de control para el subsistema de marcado continuo a partir de los datos de dicha intersección transformados por los medios de transformación adicionales, estando dicha información de control adaptada para control del proyector láser del subsistema de marcado continua permitiendo así la proyección mediante dicho proyector láser de las imágenes luminosas de marcado.

Por tanto la reivindicación 11 de la solicitud es nueva (Art. 6.1 LP 11/1986) y tiene actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986).

**Análisis del resto de los documentos**

De este modo, ni el documento D1, ni ninguno del resto de los documentos citados en el Informe del Estado de la Técnica, tomados solos o en combinación, revelan la invención en estudio tal y como es definida en las reivindicaciones independientes, de modo que los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. Además, en los documentos citados no hay sugerencias que dirijan al experto en la materia a una combinación que pudiera hacer evidente la invención definida por estas reivindicaciones y no se considera obvio para una persona experta en la materia aplicar las características incluidas en los documentos citados y llegar a la invención como se revela en la misma.