

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 572 819**

51 Int. Cl.:

**E02D 33/00** (2006.01)

**E02D 1/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2010 E 10707620 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.03.2016 EP 2391776**

54 Título: **Procedimiento y sistema de vigilancia del estado de un cemento encastrado en el suelo**

30 Prioridad:

**02.02.2009 FR 0950656**

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

**02.06.2016**

73 Titular/es:

**SOLETANCHE FREYSSINET (50.0%)  
280 avenue Napoléon Bonaparte  
92500 Rueil Malmaison, FR y  
INSTITUT FRANÇAIS DES SCIENCES ET  
TECHNOLOGIES DES TRANSPORTS, DE  
L'AMÉNAGEMENT ET DES RÉSEAUX (50.0%)**

72 Inventor/es:

**HOVHANESSIAN, GILLES y  
BOURQUIN, FRÉDÉRIC**

74 Agente/Representante:

**VEIGA SERRANO, Mikel**

**ES 2 572 819 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema de vigilancia del estado de un cimiento encastrado en el suelo

### 5 Sector de la técnica

La presente invención trata sobre la vigilancia del estado de un cimiento encastrado en el suelo.

### Estado de la técnica

10 Tal vigilancia puede efectivamente resultar deseable, concretamente en ciertas situaciones susceptibles de desencadenar un deterioro, incluso el derrumbe del cimiento y en consecuencia de una obra soportada por este cimiento.

15 Tales situaciones pueden por ejemplo, incluir fenómenos naturales tales como crecidas, seísmos o deslizamientos del terreno.

20 Para ilustrar el propósito, a continuación se adopta el ejemplo no limitativo de un puente sobre pilares parcialmente sumergidos en un río.

En ciertas condiciones, podría aparecer un derrubio a la altura de los pilares. Se trata de un fenómeno de erosión, progresivo o brutal, del suelo alrededor y por debajo de los pilares, provocado por el flujo de agua del río, en particular si este flujo es turbulento.

25 Quedando entonces la estructura del suelo modificada alrededor y por debajo de los pilares, el equilibrio de estos últimos podría verse alterado verticalmente y/o en rotación.

30 Un derrubio importante podría acarrear un debilitamiento e incluso la ruptura de los pilares, capaz de conllevar la caída brutal del tablero del puente.

Este fenómeno seguramente representa una de las principales causas de desmoronamiento de los puentes.

35 Puede verse agravado en caso de crecidas del río ya que, en ese caso, la erosión del suelo se acelera brutalmente y se ve redoblado por un aumento en el empuje del agua sobre los pilares y eventualmente por choques debidos a objetos flotantes arrastrados por el río crecido.

El modo de ruptura de un pilar, susceptible de producirse en tales circunstancias, globalmente sigue la siguiente secuencia:

- 40
- el suelo se derrubia desprendiendo progresivamente la base del pilar;
  - los esfuerzos, que deberían transmitirse a la cabeza del pilar y disiparse en el suelo, se aplican más abajo en el cimiento, es decir, en una zona que por lo general está poco armada y que no está dimensionada para asumir estos esfuerzos;
  - 45 - este fenómeno se amplifica hasta la ruptura del cimiento, seguido rápidamente de la ruptura del pilar en su conjunto.

50 Tal ruptura se denomina frágil y no está obligatoriamente precedida de una inclinación progresiva del pilar.

Se conocen varias técnicas de detección de derrubios por ejemplo a partir del documento EP 1 443 208 A1.

55 Un primer grupo de técnicas consiste en realizar, de manera puntual o periódica, un examen de la superficie del suelo en el fondo del agua.

Este examen puede ser manual, por ejemplo utilizando una percha desde la superficie, haciendo que buceadores efectúen croquis o tomen imágenes, o bien utilizando sonares.

60 Como variante, el examen puede estar automatizado o semi-automatizado. A modo de ejemplo, se puede usar un submarino teledirigido equipado con un aparato de toma de imágenes.

Esquemáticamente, estas técnicas se interesan por el nivel del suelo en el lecho del río. Una bajada en el nivel del suelo alerta sobre la existencia de un derrubio.

65 Un segundo grupo de técnicas consiste en disponer instrumentos en permanencia para permitir exámenes del mismo tipo que en el caso anterior, pero de manera más regular.

Los instrumentos comprenden por ejemplo un collarín metálico que desliza sobre una varilla sumergida e insertada verticalmente en el suelo, así como un dispositivo de medición magneto-inductivo que permite medir la posición del collarín sobre la varilla.

5 En otra configuración, el dispositivo puede estar constituido por una masa suspendida por un cable a una rueda dentada. Un dispositivo de medición permite medir la posición de la rueda dentada y por tanto el descenso progresivo de la masa.

10 En todos los casos, la medición se basa en el descenso de un objeto por gravedad a medida que el suelo se erosiona y en la medición de la posición del objeto. Un descenso del objeto revela, una vez más, la bajada del nivel del suelo, lo que puede traducirse en la existencia de un derrubio.

15 Las técnicas de estos dos grupos presentan cierto número de inconvenientes.

Al estar basadas en una medición del nivel del suelo, solo permiten detectar la presencia de un derrubio que se forme en el emplazamiento del sensor. Por lo tanto es posible que no se detecte un cimientto en riesgo si el suelo se derrubia en un punto distinto al de la colocación del sensor, o porque no hay un derrubio claro. Pudiendo la ruptura del cimientto tras el derrubio ser brutal, como se ha recordado en lo que antecede, tal detección podría no ser lo suficientemente precoz.

20 Estas técnicas tampoco son eficaces para su uso en condiciones adversas, como por ejemplo, con crecidas. Esto es evidente en la realización de exámenes manuales. Pero, incluso en el caso de mediciones automatizadas, los instrumentos situados en la superficie del agua o dentro del agua, por lo general no resistirán.

25 A modo de ejemplo, la varilla y el collarín magnético anteriormente mencionados podrían ser arrastrados por la corriente y el sonar podría dañarse, incluso destruirse, tras haber sido golpeado por objetos arrastrados por el agua en caso de crecida.

30 Además, si el derrubio en general se caracteriza por una disminución del nivel del suelo, podrían existir otros fenómenos capaces de desequilibrar el cimientto hasta provocar su caída.

35 Por otro lado, las antedichas técnicas son específicas para la detección de un derrubio debido al flujo de agua y no permiten el seguimiento de otros riesgos que pueden debilitar el cimientto.

De este modo, una descompresión del suelo, vinculado por ejemplo a movimientos de terreno durante un temblor de tierra, podrían conllevar una pérdida de sostén del cimientto (el suelo descompactado ya no desempeña su función de apoyo del cimientto), sin por ello afectar significativamente la altura del suelo. Tal fenómeno no puede detectarse con las técnicas de la técnica anterior que se han presentado antes.

40 Asimismo, una acumulación de sedimentos, progresiva o brutal, por ejemplo a tenor de un deslizamiento del terreno tampoco sería detectada por los sistemas de vigilancia automatizados que se basan en el principio de la masa pesada.

45 Además, el buen funcionamiento de las antedichas técnicas resulta difícil de controlar a distancia. Por ejemplo, no es posible saber si el sistema de medición mediante una masa colocada sobre una varilla o suspendida de un hilo está bloqueado, por ejemplo, por un objeto arrastrado por el río o porque los componentes estén corroídos. Si la masa está bloqueada, no se detectará el derrubio y nada permitirá saberlo sin realizar una comprobación sobre el terreno.

50 Estas técnicas tampoco permiten comprobar la eficacia de una reparación. Si se detecta un derrubio, se rellenará, en general mediante la colocación de una escollera. Las técnicas de la técnica anterior no permiten juzgar la capacidad de esta reparación de asegurar el apoyo horizontal necesario para el cimientto.

55 Un artículo de Y. Fujino y D.M. Siringoringo titulado "Structural health monitoring for risk assessment of bridges: concept and implementations" y publicado en noviembre de 2008 evoca muy brevemente la posibilidad de dotar los pilares de un puente de inclinómetros, para detectar su desmoronamiento tras un derrubio.

No obstante, la inclinación de un pilar de puente puede ser normal, en particular cuando aparece en respuesta a un fuerte empuje horizontal ejercido por el agua del río. Por lo tanto no constituye, por si misma, un indicador relevante.

60 Además, dado que la ruptura del pilar puede ser brutal, tal y como se mencionaba antes, lo que constata esta técnica es efectivamente el desmoronamiento del pilar. Esta última no permite anticipar el desmoronamiento en la práctica.

### **Objeto de la invención**

65 Un objetivo de la presente invención consiste en limitar al menos ciertos inconvenientes de las técnicas anteriormente mencionadas.

La invención propone por tanto un procedimiento de vigilancia del estado de un cimiento que soporta una obra y que está encastrado en el suelo. Este procedimiento comprende las siguientes etapas:

- 5 - adquirir, con la ayuda de un conjunto de sensores situados en la obra, un conjunto de medidas relativas al cimiento y/o a la obra, según un modo de adquisición determinado;
- calcular, a partir de dicho conjunto de mediciones, un conjunto de indicadores de estado característico de una rigidez de encastre del cimiento; y
- 10 - efectuar una comparación entre un conjunto de valores deducidos del conjunto de indicadores de estado calculados y un conjunto de umbrales.

15 De este modo, la vigilancia del estado del cimiento está basada en un análisis de su rigidez de encastre, que es representativo de su sostén sobre el suelo. Por lo tanto el interés se centra directamente en el cimiento y en la obra que soporta, en lugar de en una eventual manifestación exterior de un fenómeno capaz de desestabilizar el cimiento, como por ejemplo, la erosión del suelo.

20 La rigidez de encastre ventajosamente puede incluir la rigidez horizontal o en rotación del cimiento, que es representativa de la resistencia del suelo en apoyo, es decir, la capacidad del suelo para soportar los esfuerzos horizontales que le transmite el cimiento.

25 De esta forma, la vigilancia puede ser más precisa. Permite detectar antes las modificaciones de la condición de encastre del cimiento y por tanto anticipar mejor los fenómenos que podrían conllevar su deterioro, incluso su derrumbe.

30 Esta vigilancia también permite detectar una mayor variedad de fenómenos, ya que detecta cualquier pérdida de sostén del cimiento en el suelo, sea cual sea su causa y sus consecuencias (derrubio que tenga como efecto bajar el nivel del suelo, descompresión del suelo eventualmente sin modificación de su nivel, derrubio local solamente en una parte del cimiento, etc.).

35 Además, al estar los sensores utilizados colocados sobre la obra (ventajosamente a gran distancia del cimiento), están menos expuestos al riesgo de deterioro o de destrucción que ciertos dispositivos de las antedichas técnicas anteriores. En particular, cuando el cimiento está al menos parcialmente sumergido, ventajosamente, los sensores están a cierta distancia del agua, lo que les protege, particularmente cuando el flujo de agua se vuelve violento.

Además, los sensores pueden usarse tras reforzar el suelo para caracterizar su eficacia.

40 Asimismo, la solución utilizada puede ser objeto de un diagnóstico remoto y no corre el riesgo de resultar ineficaz, por ejemplo, en el momento de una crecida.

45 Lo que es más, esta solución puede utilizarse para detectar y diagnosticar una disminución o un aumento de la rigidez de encastre del cimiento, vinculada a otros fenómenos distintos a los derrubios (temblores de tierra, acumulación de depósitos, etc.)

Cabe destacar además que en la presente descripción, así como en las reivindicaciones, cada vez que se hace referencia a un conjunto de elementos, sean cuales sean los elementos en cuestión, se debe interpretar que tal conjunto puede incluir un único elemento o una pluralidad de elementos.

50 Ventajosamente, uno o varios parámetros del modo de adquisición de las medidas puede variar según el valor de al menos un indicador de estado de dicho conjunto de indicadores de estado y/o de otro indicador tal como un nivel del agua alrededor del cimiento. La vigilancia del estado del cimiento también puede de este modo adaptarse a las circunstancias, mejorando de este modo la auditoría o la toma de decisiones que eventualmente podrían derivarse de la misma.

55 La invención propone asimismo un sistema de vigilancia del estado de un cimiento que soporta una obra y que está encastrado en el suelo. Este sistema está dispuesto para poner en práctica el antedicho procedimiento y comprende:

- 60 - un conjunto de sensores adecuados para colocarse sobre la obra, estando dicho conjunto de sensores dispuesto para adquirir un conjunto de medidas relativas al cimiento y/o a la obra, según un modo de adquisición determinado;
- una calculadora para calcular, a partir de dicho conjunto de medidas, un conjunto de indicadores de estado característico de una rigidez de encastre del cimiento; y
- 65 - un comparador para efectuar una comparación entre un conjunto de valores deducidos del conjunto de indicadores

de estado calculados y un conjunto de umbrales.

**Descripción detallada de la invención**

5 Otras particularidades y ventajas de la presente invención aparecerán en la siguiente descripción de ejemplos de realización no limitativos, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es un esquema que representa un ejemplo de sistema de vigilancia del estado de un cimiento de un puente sobre pilares;
- 10 - la figura 2 es un esquema que representa un primer ejemplo de cimiento para un pilar de puente;
- la figura 3 es un esquema que representa un ejemplo de modelización de la rigidez de encastre del cimiento mostrado en la figura 2;
- la figura 4 es un esquema que representa un segundo ejemplo de cimiento para un pilar de puente;
- 15 - la figura 5 es un esquema que representa un ejemplo de modelización de la rigidez de encastre del cimiento mostrado en la figura 4;
- la figura 6 es un esquema que muestra distintos parámetros de un modo de adquisición de medidas relativas a un cimiento y/o una obra soportada por el mismo;
- la figura 7 es un esquema que representa las etapas de un ejemplo de vigilancia del estado de un cimiento;
- 20 - la figura 8 es un es un esquema que representa una secuencia de etapas ventajosas que preceden una vigilancia operativa;
- la figura 9 es un esquema que representa un ejemplo de medida adquirida por un sensor.

A continuación se describe la invención, de manera no limitativa, en el marco de una vigilancia del estado de los cimientos de un puente sobre pilares. Se aplica, no obstante a cualquier otro tipo de cimiento que soporte una obra y que esté encastrado en el suelo. Este cimiento eventualmente puede situarse en una zona sometida a riesgos naturales tales como crecidas, seísmos o deslizamientos del terreno.

La figura 1 muestra un ejemplo de puente 1 que comprende un tablero 3 y cierto número de pilares 2 que soportan el tablero 3. Los cimientos de cada uno de los pilares 2 están encastrados en el suelo. En el ejemplo ilustrado, el puente salva un río y dos de los pilares 2 tienen una parte inferior sumergida en este río. Por supuesto, la invención se aplica igualmente a otras configuraciones de puente.

Un puente sobre pilares generalmente utiliza uno de los siguientes dos tipos de cimientos a la altura de cada uno de sus pilares:

- un cimiento profundo, en el que pilotes 7 que soportan el pilar 6 se hincan en el suelo 11, como se ilustra en la figura 2, o
- 40 - un cimiento superficial, en el que solo una parte inferior del pilar 12 está encastrada en el suelo 13, como se ilustra en la figura 5.

Se entenderá por tanto que cada pilar 6 o 12 puede participar en cierta medida en el cimiento (en su parte inferior), a la vez que forma parte de la obra soportada, es decir del puente (en su parte superior).

45 Si bien, naturalmente, se podrían considerar otros tipos de cimientos.

En todos los casos, se puede mostrar que un cimiento que soporta una obra puede ser objeto de una modelización. Pudiendo consistir esta última por ejemplo, en el caso de un cimiento de un pilar de puente, en una viga de inercia variable mantenida por resortes y/o amortiguadores que trabajen en traslación y/o en rotación y simulen el comportamiento del suelo.

Un modelo de la configuración mostrada en la figura 2 se ilustra en la figura 3. Se puede ver una viga de inercia variable 8, una serie de resortes / amortiguadores 9 que trabajan en traslación horizontal, así como un resorte / amortiguador 10 que trabaja en traslación vertical.

55 Asimismo, un posible modelo para la configuración que se muestra en la figura 4 se ilustra en la figura 5. Este modelo comprende una viga de inercia variable 14, un resorte / amortiguador 15 que trabaja en traslación vertical, un resorte / amortiguador 16 que trabaja en traslación vertical y un resorte / amortiguador 17 que trabaja en rotación.

60 En los dos ejemplos de modelos mencionados anteriormente, se puede además tener en cuenta una condición de apoyo en la cabeza de la viga, representativa del tipo de apoyo del tablero de puente sobre el pilar considerado (p. ej. apoyo deslizante, apoyo fijo, apoyo esférico, etc.).

Por supuesto se pueden considerar otros modelos.

65 Tales modelos teóricos permiten simular el comportamiento del cimiento encastrado en el suelo.

A partir de un modelo dado, se puede definir un conjunto de indicadores de estado característico de una rigidez de encastre del cimiento.

5 Por rigidez de encastre del cimiento debe entenderse en este documento, la relación entre un esfuerzo aplicado sobre el cimiento y un desplazamiento del cimiento provocado por este esfuerzo. Esta noción engloba las de rigidez vertical, horizontal o en rotación, que corresponden respectivamente a un esfuerzo vertical, horizontal o a un par sobre un desplazamiento vertical, horizontal o una rotación angular.

10 La rigidez de encastre puede comprender una rigidez estática, que se corresponde con un esfuerzo estático, es decir correspondiente a una fuerza lenta o sustancialmente invariable. También puede comprender la noción de rigidez dinámica que se corresponde a un esfuerzo dinámico, que puede expresarse como una suma de fuerzas periódicas de frecuencias más o menos elevadas. La rigidez dinámica puede, en ciertos casos, variar en función de la frecuencia de la fuerza.

15 Además del conjunto de indicadores de estado, se puede definir, para el modelo seleccionado, un conjunto de umbrales con los que un conjunto de valores deducidos del conjunto de indicadores de estado se pueden comparar.

20 Ventajosamente estos umbrales se seleccionan para que se correspondan con estados remarcables del cimiento, como se pondrá de manifiesto más adelante. Puede tratarse de umbrales absolutos definido por valores límite absolutos para dichos valores deducidos del conjunto de indicadores de estado o bien de umbrales relativos que definen una amplitud límite de variación para dichos valores deducidos del conjunto de indicadores de estado. También es posible una mezcla de umbrales absolutos y de umbrales relativos.

25 El conjunto de indicadores de estado puede comprender una gran variedad de indicadores de estado.

30 A modo de ejemplo, se podría utilizar uno o varios de estos indicadores de estado característico de una rigidez estática de encastre del cimiento. En el caso de un pilar de puente parcialmente sumergido, se puede utilizar de este modo, como indicador de estado, una relación entre el esfuerzo aplicado por el agua sobre el pilar y una inclinación del pilar con respecto a su eje principal, eventualmente en un plano dado. Cabe destacar que tal indicador es mucho más relevante que una simple inclinación, de la que un valor elevado puede ser totalmente normal si coincide con un fuerte empuje horizontal del agua, pero anormal en caso de poco empuje.

35 Como variante o como complemento, se podría utilizar uno o varios de estos indicadores de estado característico de una rigidez estática de encastre del cimiento. Por ejemplo, se puede citar un indicador característico de un comportamiento vibratorio del conjunto cimiento + obra, tal como un indicador relativo a unas frecuencias inherentes de vibración del conjunto de cimiento y obra. En el caso de un puente sobre pilares que salva un río, una deriva de las frecuencias inherentes de vibración del conjunto cimiento + puente soportado por el cimiento, y en particular del primer modo de basculación alrededor de un eje horizontal perpendicular al curso del río, produce el efecto de una buena indicación del riesgo de derrumbe del cimiento y/o de la obra.

A continuación el interés se centra en la vigilancia del estado de un cimiento que soporta una obra y que está encastrado en el suelo.

45 A estos efectos, se coloca un conjunto de sensores en la obra. La figura 1 ilustra esta situación en el caso en el que la obra en cuestión sea un puente 1 sobre pilares 2.

50 En este ejemplo, dos de los sensores 4 utilizados se colocan sobre pilares 2 correspondientes. No obstante, están situado a suficiente altura sobre los pilares como para no quedar demasiado expuestos a riesgos de deterioro o de destrucción, por ejemplo tras una crecida del río que pasa por debajo del puente 1. El tercer sensor 5 está, en su caso, colocado bajo el tablero 3 y a proximidad de un pilar 2 del puente 3. Por supuesto, se puede considerar un número y/o un posicionamiento diferente de los sensores.

55 Estos sensores se disponen para adquirir ciertas medidas relativas al cimiento y/o a la obra a partir de las cuales se puede obtener el conjunto de indicadores de estado característico de una rigidez de encastre del cimiento, tal y como se menciona en lo que antecede.

60 Cada sensor puede estar especializado en un tipo de medida dada, aunque también es posible que al menos ciertos de los sensores utilizados sean polivalentes y puedan adquirir todo o parte del conjunto de dichas medidas. Eventualmente se puede utilizar dispositivos que incluyan cada uno, un grupo de sensores especializados.

Al menos ciertos de los sensores pueden tener capacidad de procesamiento y memorización de datos. Por otra parte, al menos ciertos de los sensores pueden funcionar con baterías y comprender medios de comunicación inalámbricos para comunicarse con una unidad remota y/o entre ellos.

65 Las medidas que pueden adquirirse mediante los sensores están adaptadas al tipo de indicadores de estado que se

desea calcular. A modo de ejemplo, una medición de la inclinación  $I$  de un pilar con respecto a su eje principal, eventualmente en un plano dado, se puede adquirir a lo largo del tiempo  $t$ , como se muestra en la figura 9. Tal medida puede adquirirse con la ayuda de un inclinómetro.

5 Un valor del indicador de estado descrito en lo que antecede, como la relación entre el esfuerzo aplicado por el agua sobre el pilar y una inclinación del pilar pueden de este modo calcularse a partir de tal medida, así como una medición del esfuerzo aplicado por el agua sobre el pilar.

10 Asimismo, la medición mostrada en la figura 9 puede utilizarse para calcular las frecuencias inherentes de vibración del conjunto cimiento + puente soportado por el cimiento, definido igualmente en lo que antecede como un indicador de estado posible.

15 Como variante o como complemento, el comportamiento vibratorio del conjunto cimiento + puente podría medirse con la ayuda de uno o varios acelerómetros.

Se pueden considerar muchas otras mediciones como le resultará evidente al experto en la materia.

20 Estas medidas se adquieren según un modo de adquisición determinado, del que se ilustran ejemplos no limitativos de parámetros en la figura 6.

25 Los parámetros de adquisición que componen el modo de adquisición comprenden en particular la definición de uno o varios periodos de tiempo  $P$  determinados, en el transcurso de los cuales se adquieren las medidas. En el seno de cada uno de estos periodos  $P$ , puede además definirse una frecuencia de adquisición  $f$ : que corresponde al número de medidas adquiridas durante  $P$ . Además, cuando se utilizan varios periodos de tiempo  $P$  para la adquisición, el intervalo de tiempo  $t$  entre dos periodos sucesivos puede constituir otro parámetro de adquisición.

Se pueden utilizar otros parámetros de adquisición en sustitución o como complemento de los parámetros  $P$ ,  $f$  y  $t$  anteriormente mencionados.

30 Todos o parte de estos parámetros de adquisición pueden ser o bien fijos o variables en el tiempo. Más adelante se evocan ejemplos de acontecimientos que pueden desencadenar una modificación de uno o varios de estos parámetros.

35 Un conjunto de indicadores de estado característico de una rigidez de encastre del cimiento se puede calcular a continuación, a partir del conjunto de medidas adquiridas con la ayuda de los sensores. Tal conjunto de indicadores de estado ya se ha definido en lo que antecede.

40 Cuando los sensores están provistos de capacidad de procesamiento y memorización de datos, ventajosamente pueden calcular y memorizar ellos mismo los indicadores de estado, preferentemente en tiempo real. Almacenando solo estos indicadores de estado, en lugar de las medidas adquiridas, se limita el volumen de datos a memorizar.

45 En caso contrario, ventajosamente los sensores pueden transmitir al menos ciertas de las medidas adquiridas y/o indicadores de estado calculados a una unidad remota de procesamiento y/o de memorización de datos, por ejemplo mediante un conexión inalámbrica. Cuando esta unidad remota está fuera de alcance de un sensor dado, ventajosamente uno o varios de los otros sensores pueden relevarse para retransmitir las señales transmitidas por este último hasta alcanzar dicha unidad remota.

50 Entonces se pueden deducir unos valores de los indicadores de estado calculados con vistas a compararlos con un conjunto de umbrales. Estos umbrales pueden seleccionarse en función de un comportamiento esperado del cimiento y de la obra que soporta, por ejemplo a partir de un modelo teórico tal como el antedicho.

55 Cabe destacar que estos valores podrán ser directamente los de los indicadores de estado calculados, cuando estos últimos pueden compararse con los umbrales. En caso contrario, pueden ser el resultado de la aplicación de funciones matemáticas a uno o varios de los indicadores de estado calculados (cambio de escala o de unidad de un indicador de estado, combinación de indicadores de estado, etc.).

A modo de ejemplo, se puede efectuar una comparación entre el indicador de estado correspondiente a la relación entre el esfuerzo aplicado por el agua sobre un pilar y una inclinación de este pilar con un umbral correspondiente.

60 Ventajosamente, la comparación entre el conjunto de valores deducidos de los indicadores de estado calculados y el conjunto de umbrales puede tener en cuenta uno o varios factores de influencia capaces de afectar al menos uno de los indicadores de estado.

65 Estos factores de influencia comprenden por ejemplo, uno o varios de entre: la temperatura (gradiente térmico), el viento, la fluencia de un material incorporado en el cimiento o la obra o la frecuencia de un esfuerzo aplicado sobre el cimiento. La carga soportada por la obra, por ejemplo, en función del tráfico soportado por la obra, también puede

constituir un factor de influencia.

Se pueden utilizar sensores, que pueden estar asociados o al contrario, ser distintos de los sensores anteriormente mencionados, para medir estos factores de influencia. Pueden comprender un sensor de temperatura, un anemómetro para el viento, un calibre de deformación para la fluencia, un detector de carga, etc.

Estos factores de influencia pueden tomarse en cuenta en la comparación, adaptando los indicadores de estado calculados y/o los umbrales de manera apropiada. A modo de ejemplo, el valor de un indicador de estado que hace intervenir la inclinación de un pilar de puente podría modificarse para compensar la contribución del efecto del viento medido en esta inclinación. La comparación entre este valor y un umbral predeterminado no quedaría así falseado por el efecto del viento.

En función del resultado de la comparación, se puede realizar una auditoria y/o se puede tomar una decisión sobre la explotación de la obra.

La realización de una auditoria puede consistir en elaborar un diagnóstico sobre el estado del cimiento.

La toma de una decisión sobre la explotación de la obra, puede comprender por ejemplo, el cierre o la restricción de la explotación de dicha obra. De este modo, cuando la obra considerada es un puente, la toma de decisiones puede por ejemplo, consistir en reducir o detener el tráfico sobre este puente.

Gracias a la utilización del conjunto de indicadores de estado característico de una rigidez de encastre del cimiento, se tiene de este modo un medio fiable para detectar lo antes posible la pérdida de sostén del cimiento sobre el suelo. Debido a este hecho, se puede anticipar un derrubio, mucho antes del derrumbe del cimiento.

Además, puesto que el interés se centra directamente en el cimiento y la obra en sí mismos, en lugar de las eventuales consecuencias susceptibles de afectarles (bajada del nivel del suelo, por ejemplo en caso de derrubio), asimismo, la detección es más fiable y precisa.

También se puede detectar y anticipar fenómenos, distintos a los derrubios, que pueden, no obstante provocar el deterioro e incluso el derrumbe del cimiento y de la obra, tales como descompresiones del suelo (p. ej., suelo con sedimentos descompactados), seísmos, deslizamientos de terreno, otros riesgos naturales, etc.

En la hipótesis en la que una modelización teórica se haya efectuado inicialmente y que al menos ciertos de los umbrales destinados a utilizarse en la vigilancia del estado del cimiento procedan de esta modelización, ventajosamente se puede poner en práctica una fase de aprendizaje antes de la vigilancia operativa propiamente dicha.

Esta situación se ilustra en la figura 8. La fase de aprendizaje (etapa 30) puede practicarse después de modelizar la rigidez de encastre del cimiento (etapa 28) e instalación de los sensores en la obra (etapa 29). Consiste en ajustar los umbrales definidos a partir de la modelización teórica mediante medidas procedentes de los sensores. Ventajosamente se realiza con fuerzas naturales (viento, tráfico, etc.).

De este modo se garantiza que los umbrales utilizados en la vigilancia operativa (etapa 32) estarán bien adaptados al cimiento considerado en la práctica. La condición de encastre del cimiento en el suelo podrá asimismo seguirse y analizarse correctamente.

El análisis de la rigidez de encastre del cimiento se hará ventajosamente en función de las fuerzas naturales y de la respuesta del cimiento frente a estas fuerzas naturales. Las dos fuerzas principales consideradas son el empuje del agua en el caso de cimientos en ríos y el tráfico vial o ferroviario. En la hipótesis en la que estas fuerzas naturales fueran insuficientes, y por ejemplo no solicitaran suficientemente los modos de basculación del cimiento, se podría, no obstante, considerar solicitar artificialmente el cimiento, por ejemplo con la ayuda de vibradores, haciendo frenar camiones y haciéndoles pasar por encima de badenes, u otros.

Un ejemplo de vigilancia del estado de un cimiento de un puente sobre pilares, encastrado en el suelo, se describe a continuación con referencia a la figura 7, a modo de ejemplo,

En un primer tiempo, se realiza una vigilancia corriente. Correspondiente a un modo normal, en el que las fuerzas ejercidas sobre el cimiento en principio tienen la amplitud usual.

Comprende la adquisición de medidas  $m_{i1}$  mediante un conjunto de sensores, según un primer modo de adquisición cuyos parámetros pueden comprender, como se ha descrito con referencia a la figura 6, un periodo de tiempo  $P1$  en el que se adquieren las medidas, una frecuencia de adquisición  $f1$  para cada periodo  $P1$  y/o un intervalo de tiempo  $t1$  entre dos periodos  $P1$  sucesivos (etapa 18).

A modo de ejemplo, la adquisición de las medidas durante la vigilancia corriente puede realizarse a lo largo de

periodos de 5 minutos separados por intervalos de 2 horas y con una frecuencia de adquisición de 500 Hz. Por supuesto, podrían utilizarse estos valores aportados a modo de ejemplo y otros tantos valores.

5 Prosigue la vigilancia corriente, en la etapa 19, mediante el cálculo de un conjunto de indicadores de estado  $i_{j1}$  característico de una rigidez de encastre del cimiento, a partir de medidas  $m_{i1}$  y según los principios anteriormente expuestos.

10 Una parte al menos de estos indicadores de estado  $i_{j1}$  puede archivar en una memoria adecuada, que podría ser la de los sensores o de una unidad distinta, a fin de un eventual análisis posterior (etapa 20).

En la etapa 21, se comprueba si uno o varios indicadores  $i_{n1}$  del conjunto de indicadores de estado  $i_{j1}$  calculados satisfacen o no una condición  $c_1$ . Esta condición puede adoptar varias formas. Comprende la comparación de al menos un valor deducido de  $i_{n1}$  con uno o varios umbrales adecuados.

15 A modo de ejemplo, el indicador de estado  $i_{n1}$  podría consistir en una relación entre el esfuerzo aplicado por el agua de un río sobre un pilar del puente y una inclinación de este pilar, y compararse con un umbral predeterminado.

20 Como variante, la condición  $c_1$  podría aplicarse a un indicador que no forme parte del conjunto de indicadores de estado  $i_{j1}$  calculados, y que no informe directamente sobre la rigidez de encastre del cimiento.

Por ejemplo, tal indicador podría referirse a un nivel de agua alrededor del cimiento. Este indicador podría además calcularse a partir de uno de los sensores mencionados en lo que antecede, o bien de un sensor independiente, por ejemplo, tal como un sensor por ultrasonidos o un radar.

25 En este caso, la condición verificada en la etapa 21 podría comprender una comparación entre este nivel de agua y un umbral, por ejemplo característico de una crecida. Este umbral puede expresarse como una altura absoluta del agua, en una relación entre la altura del agua y una altura de la obra, como una variación de la altura del agua, u otros.

30 De esta forma, cuando no se cumple la condición de la etapa 21 (lo que está simbolizado por el valor "0" a la salida de la prueba  $c_1(i_{n1})$ ), esto puede significar que el nivel del río que pasa bajo el puente no es excesivo y que se puede permanecer en modo normal con la misma vigilancia corriente que antes.

35 En caso contrario, es decir si se cumple la condición de la etapa 21 (lo que está simbolizado por el valor "1" a la salida de la prueba  $c_1(i_{n1})$ ), esto puede significar que el río está crecido y por tanto que aumentan los riesgos de derrubio y otros fenómenos que podrían conllevar una desestabilización del cimiento.

Se puede entonces pasar a otro modo, que es un "modo crecida" en este ejemplo. En este nuevo modo, se implementa una vigilancia más intensa.

40 Se adquieren unas medidas  $m_{i2}$  con la ayuda de sensores según un segundo modo de adquisición, que comprende parámetros de adquisición  $P_2$ ,  $f_2$  y  $t_2$ , de los que algunos al menos tienen distintos valores de  $P_1$ ,  $f_1$  y  $t_1$  (etapa 22).

45 Por ejemplo, se puede efectuar una adquisición continua en "modo crecida". Dicho de otro modo, se utiliza un solo periodo  $P_2$  de duración indefinida. En cuanto a la frecuencia de adquisición  $f_2$  puede ser la misma que  $f_1$ , p. ej., a 500 Hz, o bien más rápida, para disponer de más medidas.

De este modo se entiende que al menos un parámetro de adquisición puede variar según el valor de al menos un indicador de estado ( $i_{n1}$  en este caso) o de otro indicador (p. ej., un nivel de agua alrededor del cimiento).

50 En la etapa 23, se calcula un conjunto de indicadores de estado  $i_{j2}$  característico de una rigidez de encastre del cimiento a partir de las medidas  $m_{i2}$  y según los principios expuestos en lo que antecede. Ventajosamente, este cálculo se realiza a medida que se efectúa la adquisición, es decir en tiempo real, eventualmente en una ventana de tiempo deslizante.

55 Una parte al menos de estos indicadores de estado  $i_{j2}$  puede archivar en una memoria adecuada, que podría ser la de los sensores o de una unidad distinta, a fin de un eventual análisis posterior (etapa 24).

60 En la etapa 25, se comprueba si uno o varios indicadores  $i_{n2}$  del conjunto de indicadores de estado  $i_{j2}$  calculados satisfacen o no una condición  $c_2$ . Esta condición puede adoptar varias formas. Comprende la comparación de al menos un valor deducido de  $i_{n2}$  con uno o varios umbrales adecuados.

Ventajosamente, los umbrales utilizados en esta comparación se seleccionan para anticipar un riesgo de derrumbe del cimiento.

65 Además se pueden utilizar varios umbrales con respecto a los mismos indicadores de estado, de manera que se posibilite una auditoria o toma de decisión  $D$  bien adaptada dependiendo de la situación (etapa 26).

A modo de ejemplo, el hecho que solo un indicador de estado dado supere un primer umbral podría conllevar la restricción de la circulación en el puente, mientras que el superar un segundo umbral superior al primero podría conllevar la prohibición de circular por el puente.

5 Así, pueden definirse diferentes niveles de alarmas y de alertas, junto con acciones correspondientes adaptadas.

10 Cuando no (o ya no) se cumple la condición  $c_2$ , se puede comprobar una condición complementaria  $c_2'$  en todos los indicadores de estado  $i_{j2}$ , o bien solo entre ciertos de ellos (etapa 27), para comprobar si el funcionamiento en "modo crecida" sigue estando justificado ("1"), o bien si es posible un retorno al modo normal ("0").

En caso de retorno al modo normal, se retoma entonces la vigilancia corriente anteriormente mencionada.

15 Se comprenderá que se pueden definir otros tantos ejemplos de vigilancia según los principios de la invención anteriormente expuestos. En particular, otras adaptaciones de la estrategia de adquisición podrían utilizarse en función de los datos recabados con la ayuda de los sensores.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de vigilancia del estado de un cimiento que soporta una obra (1) y que está encastrado en el suelo, que comprende las siguientes etapas:
- 5           - adquirir, con la ayuda de un conjunto de sensores (4, 5) situados sobre la obra, un conjunto de medidas ( $m_{i1}$ ,  $m_{i2}$ ) relativas al cimiento y/o a la obra, según un modo de adquisición determinado;
- calcular, a partir de dicho conjunto de medidas, un conjunto de indicadores de estado ( $i_{j1}$ ,  $i_{j2}$ ) característico de una rigidez de encastre del cimiento; y
- 10          - efectuar una comparación entre un conjunto de valores deducidos del conjunto de indicadores de estado calculados y un conjunto de umbrales.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el conjunto de indicadores de estado ( $i_{j1}$ ,  $i_{j2}$ ) comprende al menos un indicador característico de una rigidez dinámica de encastre del cimiento, es decir relativo a una relación entre un esfuerzo dinámico aplicado sobre el cimiento y un desplazamiento del cimiento provocado por dicho esfuerzo dinámico.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que dicho indicador característico de una rigidez dinámica de encastre del cimiento es característico de un comportamiento vibratorio del conjunto de cimiento y obra, tal como un indicador relativo a unas frecuencias inherentes de vibración del conjunto de cimiento y obra.
- 20          4. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto de indicadores de estado ( $i_{j1}$ ,  $i_{j2}$ ) comprende al menos un indicador característico de una rigidez estática de encastre del cimiento, es decir relativo a una relación entre un esfuerzo estático aplicado sobre el cimiento y un desplazamiento del cimiento provocado por dicho esfuerzo estático.
- 25          5. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la comparación entre un conjunto de valores deducidos del conjunto de indicadores de estado ( $i_{j1}$ ,  $i_{j2}$ ) calculados y un conjunto de umbrales tiene en cuenta al menos un factor de influencia capaz de afectar al menos un indicador de estado del conjunto de indicadores de estado, tal como la temperatura, el viento, la fluencia de un material incorporado en el cimiento o la obra o la frecuencia de un esfuerzo aplicado sobre el cimiento.
- 30          6. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos un parámetro ( $P$ ,  $f$ ,  $t$ ) de dicho modo de adquisición determinado, tal como un periodo de tiempo en el que se adquiere el conjunto de medidas, un intervalo de tiempo entre dos periodos de tiempo sucesivos en los que se adquiere el conjunto de medidas o una frecuencia de adquisición dentro de un periodo de tiempo en el que se adquiere el conjunto de medidas, varía según el valor de al menos un indicador de estado de dicho conjunto de indicadores de estado ( $i_{j1}$ ,  $i_{j2}$ ).
- 35          7. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se realiza una auditoria y/o se toma una decisión sobre una explotación de la obra (1), en función de un resultado de dicha comparación.
- 40          8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que dicha decisión comprende un cierre o una restricción de la explotación de la obra (1).
- 45          9. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos ciertos umbrales de dicho conjunto de umbrales se seleccionan a partir de una modelización teórica (28) de la rigidez de encastre del cimiento y eventualmente ajustados mediante unas mediciones efectuadas durante una fase de aprendizaje (30).
- 50          10. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cimiento está situado en una zona sometida a riesgos naturales tales como crecidas, seísmos o deslizamientos del terreno.
- 55          11. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos un parámetro ( $P$ ,  $f$ ,  $t$ ) de dicho modo de adquisición determinado, tal como un periodo de tiempo en el que se adquiere el conjunto de medidas, un intervalo de tiempo entre dos periodos de tiempo sucesivos en los que se adquiere el conjunto de medidas o una frecuencia de adquisición dentro de un periodo de tiempo en el que se adquiere el conjunto de medidas, varía según un nivel de agua alrededor del cimiento.
- 60          12. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos ciertos sensores (4, 5) de dicho conjunto de sensores tienen capacidad de procesamiento y de memorización de datos.
- 65          13. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos ciertos sensores (4, 5) de dicho conjunto de sensores funcionan con batería y comprenden medios de comunicación inalámbricos.

14. Sistema de vigilancia del estado de un cimiento que soporta una obra (1) y está encastrado en el suelo, estando el sistema dispuesto para poner en obra el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores y que comprende:

- 5       - un conjunto de sensores (4, 5) adecuados para colocarse en la obra, estando dicho conjunto de sensores dispuesto para adquirir un conjunto de medidas ( $m_{i1}$ ,  $m_{i2}$ ) relativas al cimiento y/o a la obra, según un modo de adquisición determinado;
- una calculadora para calcular, a partir de dicho conjunto de medidas, un conjunto de indicadores de estado ( $i_{j1}$ ,  $i_{j2}$ ) característico de una rigidez de encastre del cimiento; y
- 10       - un comparador para efectuar una comparación entre un conjunto de valores deducidos del conjunto de indicadores de estado calculados y un conjunto de umbrales.

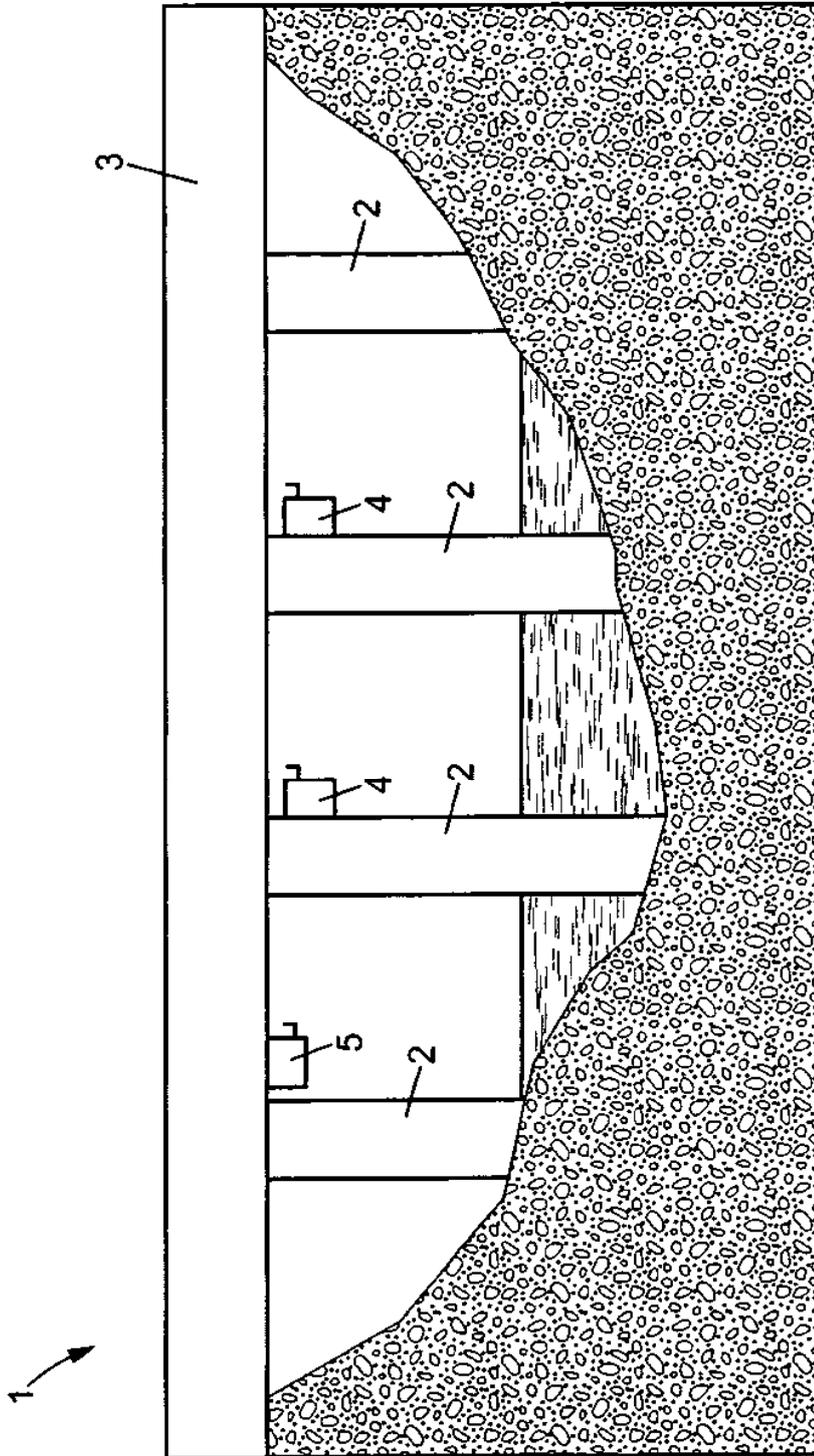


FIG. 1

FIG. 2

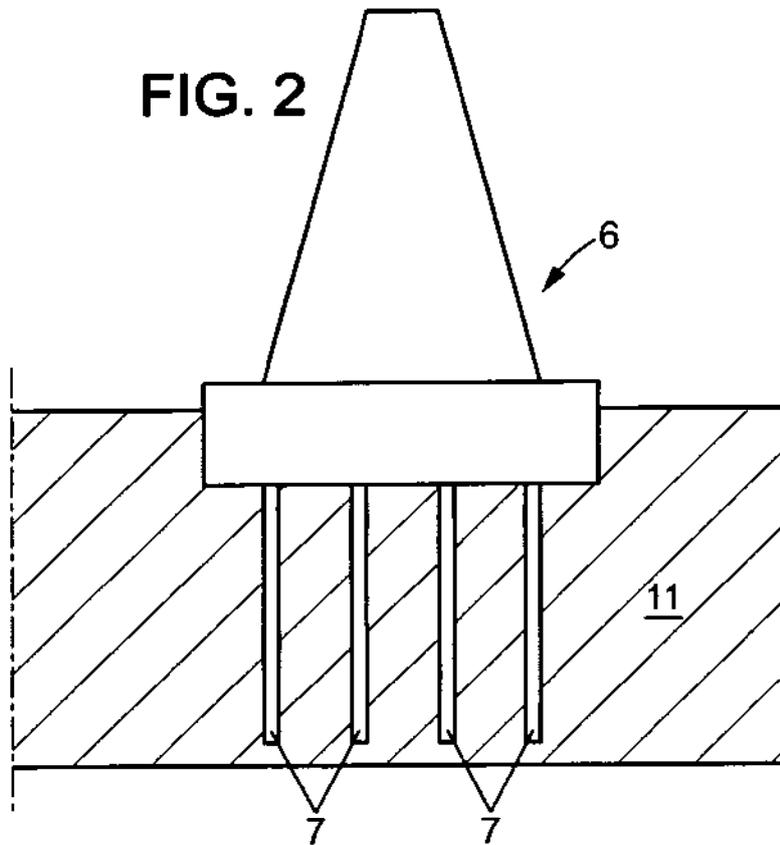
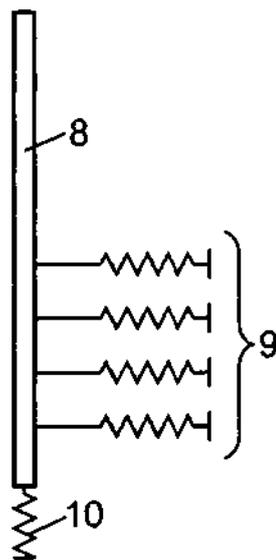
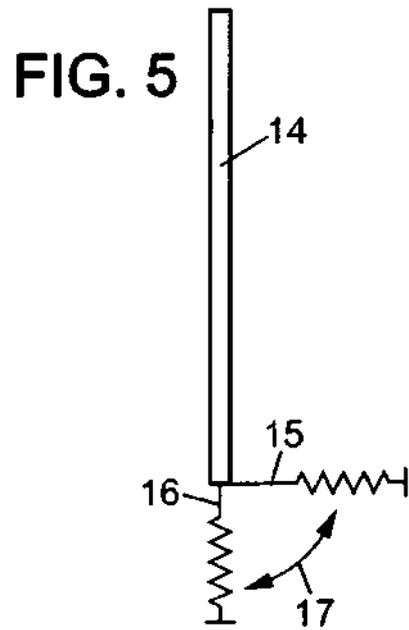
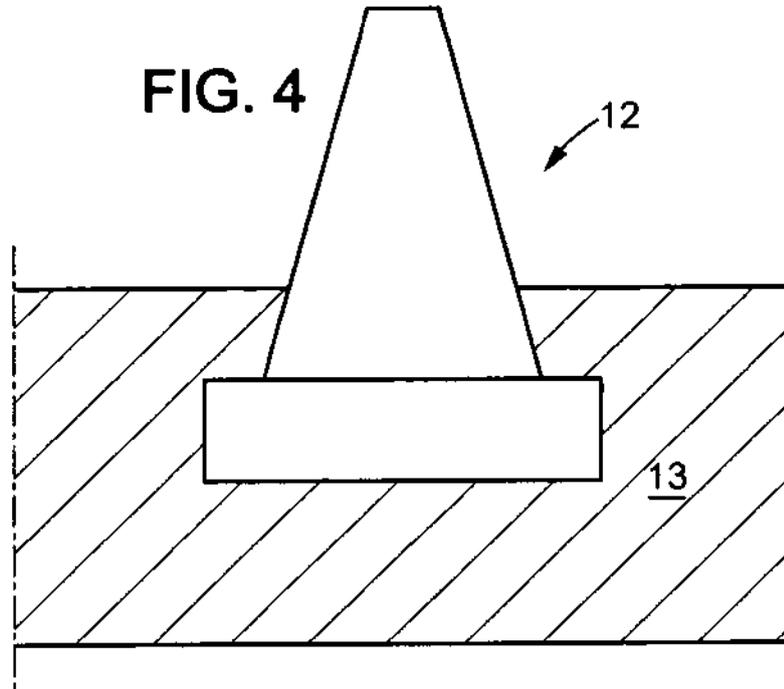
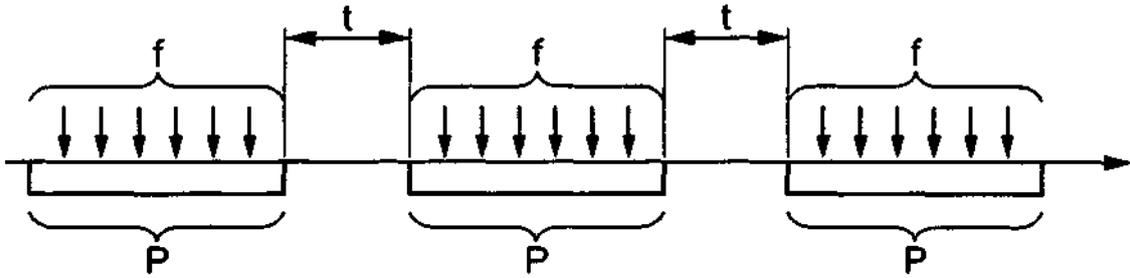


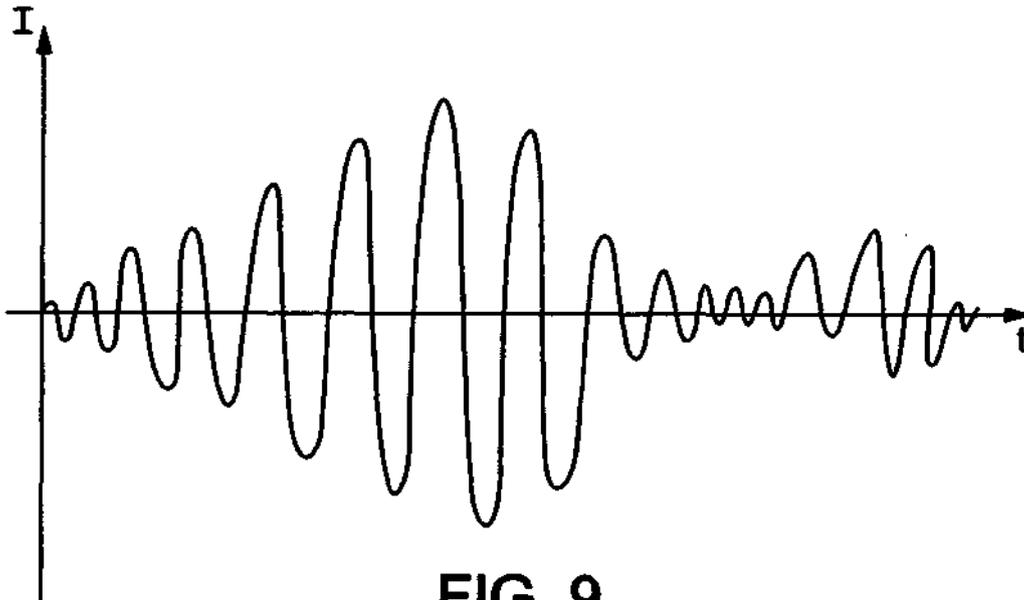
FIG. 3







**FIG. 6**



**FIG. 9**

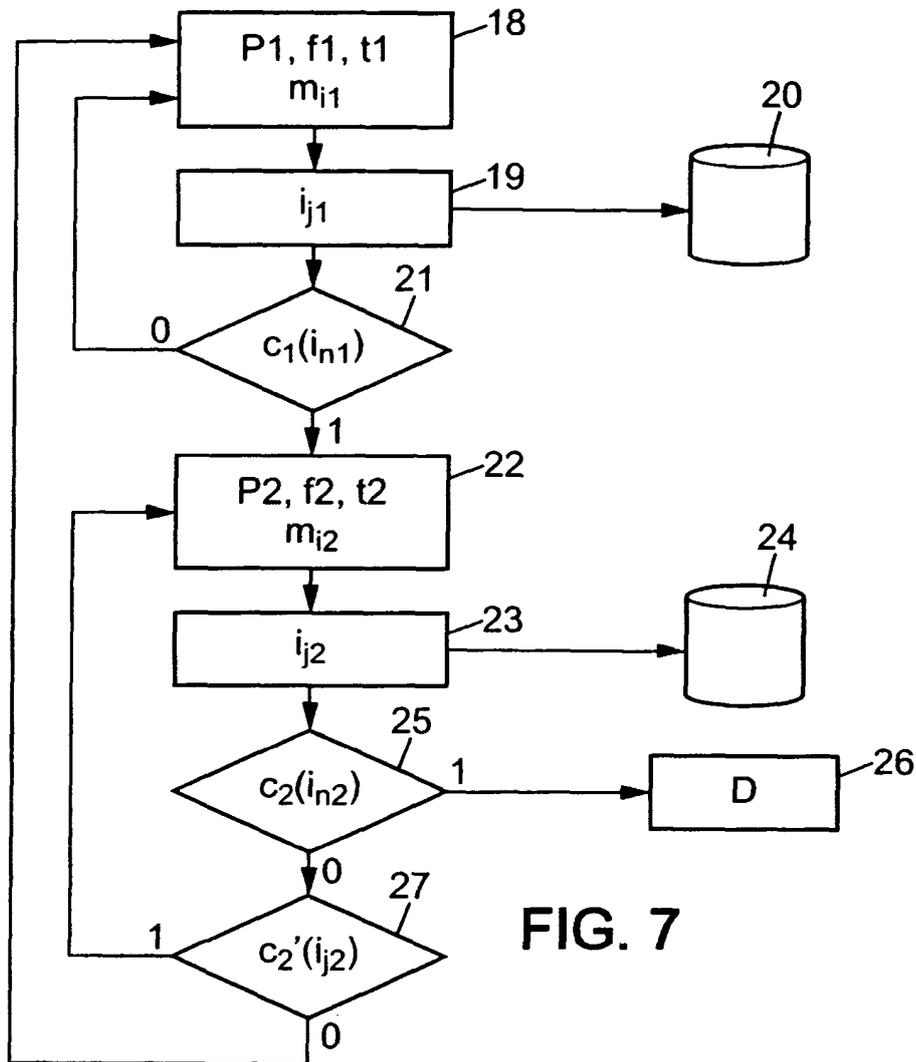


FIG. 7

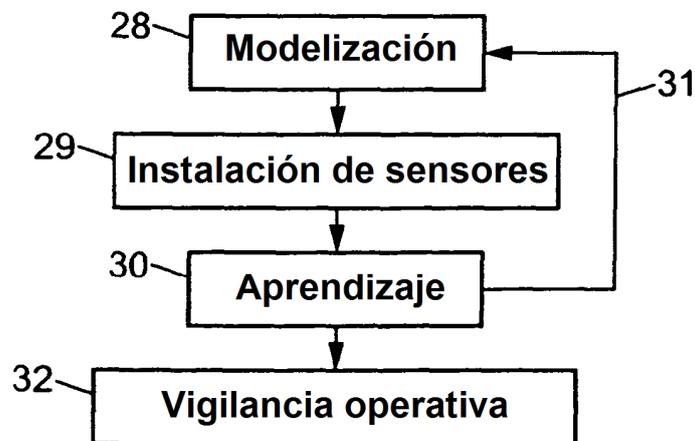


FIG. 8