



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 353 544**

② Número de solicitud: 200901735

⑤ Int. Cl.:  
**C04B 28/00** (2006.01)  
**G01B 7/16** (2006.01)  
**G01L 1/20** (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

⑫ Fecha de presentación: **05.08.2009**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **03.03.2011**

Fecha de la concesión: **02.09.2011**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **15.09.2011**

⑯ Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**15.09.2011**

⑰ Titular/es: **Universidad de Alicante  
Ctra. San Vicente del Raspeig, s/n  
03690 San Vicente del Raspeig, Alicante, ES**

⑱ Inventor/es: **García Andión, Luis;  
Zornora Pérez, Emilio;  
Baeza de los Santos, Francisco Javier;  
Galao Malo, Óscar y  
Garcés Terradillos, Pedro**

⑲ Agente: **No consta**

⑳ Título: **Composite cementicio con nanofibras de carbono para monitorización de deformaciones.**

㉑ Resumen:

Composite cementicio con nanofibras de carbono para monitorización de deformaciones.

Esta invención plantea la viabilidad del uso de nanofibras de carbono en matrices cementicias: pastas, morteros y hormigones, a fin de usar dichos composites en la monitorización de deformaciones para detectar su propia deformación al verse sometidos a acciones externas sin ningún tipo de sensor embebido o adherido.

El procedimiento se basa en el cambio en la resistencia eléctrica del material cementicio con adición de nanofibras de carbono al ser sometida a tensiones. Se realiza un cambio proporcional a la resistencia de contacto de la matriz con la nanofibra con el nivel de tensiones a que es sometida, lo cual es indudablemente interesante a la hora de hablar de una estructura inteligente.

Este composite puede aplicarse para control de vibraciones estructurales, monitorización de tráfico pesado, detección de movimiento en estancias y seguridad de edificios, en tiempo real, entre otros.

ES 2 353 544 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP.

# ES 2 353 544 B2

## DESCRIPCIÓN

Composite cementicio con nanofibras de carbono para monitorización de deformaciones.

### 5 **Campo de la invención**

La presente invención se encuadra en el campo de la construcción, y más particularmente se refiere a tecnología de los materiales y nanotecnología.

### 10 **Antecedentes de la invención**

La función de percepción de la deformación fue desarrollada inicialmente utilizando fibras de acero y fibras de carbono de uso general, siendo objeto de estudio con creciente interés hasta el presente con la introducción de nuevos parámetros.

15 En la década de los noventa se patentaron diversos procedimientos para aplicar esta técnica. Entre los antecedentes conocidos destacan las patentes americanas US5817944 y US6079277. Tales invenciones consisten en el uso de fibras de carbono dispersadas en matrices de cemento para medir la deformación que sufren al ser sometidas a un esfuerzo externo sin necesidad de llevar ningún sensor embebido o adherido, mediante la medida de las variaciones de su resistencia eléctrica durante el proceso.

Los principales inconvenientes que plantean estos antecedentes son:

- 25 • La dispersión de estas adiciones en la matriz cementicia es una labor compleja y muy delicada a la hora de obtener los resultados deseados ya que implica el uso de aditivos adicionales y varias etapas previas a la propia incorporación a la matriz.
- La fibra de carbono ofrece una moderada área de contacto con la matriz cementicia, propiedad que es importante a la hora de que el material funcione.

30 Con la intención de mejorar tales inconvenientes surge esta invención que ofrece las siguientes mejoras respecto a los materiales que emplean fibras de carbono:

- 35 • La incorporación de nanofibras en la matrices cementicias es un proceso sencillo y reproducible ya que su dispersión en la matriz es directa, lo cual garantiza poder llevar a cabo la monitorización de la deformación de forma óptima.
- 40 • El área de contacto matriz-nanofibra es muy superior a la que presenta el material con fibra de carbono, lo cual se traduce en una mayor sensibilidad del composite.

### **Explicación de la invención**

45 Tradicionalmente la línea de investigación de los materiales cementicios empleados en obra civil y edificación ha estado orientada al estudio de sus propiedades mecánicas debido a su principal y única función estructural. No obstante, últimamente ha surgido una nueva tendencia en esta línea; la integración de otras propiedades que le permitan tener funciones complementarias, convirtiéndose en materiales “multifuncionales”.

50 Existen diversas categorías dentro de los materiales cementicios “multifuncionales”; una de ellas son los materiales cementicios conductores.

Las propiedades eléctricas se consiguen mediante adiciones conductoras como los materiales carbonosos (por ejemplo, polvo de grafito, fibras de carbono o nanofibras de carbono).

55 Esta invención plantea la viabilidad del uso de nanofibras de carbono en matrices cementicias: pastas, morteros y hormigones, a fin de usar dichos composites en la monitorización de deformaciones, es decir de detectar su propia deformación al verse sometidos a acciones externas sin ningún tipo de sensor embebido o adherido.

60 Este procedimiento innovador se basa en el cambio en la resistencia eléctrica del material cementicio con adición de nanofibras de carbono al ser sometida a tensiones. De este modo, se realiza un cambio proporcional de la resistencia de contacto de la matriz con la nanofibra con el nivel de tensiones a que es sometida, lo cual es indudablemente interesante a la hora de hablar de una estructura inteligente.

65 La función de percepción de la deformación mediante adición de nanofibras de carbono consiste en que al someter al material a una compresión, esta resistencia de contacto entre la matriz cementicia y la nanofibra disminuye, produciendo a su vez el descenso de la resistencia eléctrica global en la dirección del esfuerzo. Mientras que si la tensión aplicada es de tracción el fenómeno generado es el contrario.

## ES 2 353 544 B2

Si la tensión aplicada sobrepasa el límite elástico del material se observan efectos irreversibles en la respuesta de su resistencia eléctrica. En ese caso, la capacidad de percibir la deformación del material no es capaz de recuperar totalmente su valor inicial de resistencia ya que en ese nivel tan elevado de tensión ya se han producido dos cambios irreversibles, el fallo del anclaje nanofibra-matriz y la rotura de algunas de las nanofibras.

5

El desarrollo de este composite cementicio permite diferentes aplicaciones prácticas: control de vibraciones estructurales, monitorización de tráfico pesado, detección de movimiento en estancias y seguridad de edificios, en tiempo real, entre otros.

### 10 Descripción de los dibujos

En la Figura 1 se representa una probeta prismática de dimensiones 4x4x16 cm. Esta probeta utilizada en la invención esta fabricada con pasta de cemento Pórtland y nanofibra de carbono del tipo stacked-cup, con un diámetro exterior que varía entre los 20 y 80 nm y un gran hueco central. Dichas nanofibras presentan una relación de aspecto muy alta, con una longitud de varias micras. El método de medida consiste en introducir la corriente por la cara superior 1 y la cara inferior 2 de la probeta y la diferencia de potencial se tomó entre los puntos 3 y 4. A partir de los valores de caída de potencial entre los puntos 3 y 4, se calcula la variación de las resistividades correspondientes.

15

En la Figura 2 se representa un ejemplo del comportamiento de la invención donde se muestra la evolución de la resistencia eléctrica en función de la deformación durante un ensayo de compresión axial. Probeta 4x4x16 cm de pasta de cemento con adición 5% de nanofibra de carbono, amplitud de carga de 4000 N y velocidad 100 N/s.

20

En la Figura 3 se recoge la relación entre el incremento unitario de resistencia eléctrica y la deformación unitaria en un ensayo de compresión axial. Probeta 4x4x16 cm de pasta de cemento con adición 5% de nanofibra de carbono, amplitud de carga de 4000 N y velocidad 100 N/s.

25

### Descripción detallada de la invención

Esta realización se proporciona a modo de descripción detallada para cubrir completamente el alcance de la invención para los expertos en la técnica.

30

La invención consiste en el uso de nanofibras de carbón en matrices cementicias: pastas, morteros y hormigones, con el objetivo de desarrollar la función de percepción de la deformación y así poder detectar su propia deformación al verse sometidos a acciones externas sin ningún tipo de sensor embebido o adherido.

35

En cuanto a los materiales utilizados y preparación de las probetas, se han considerado probetas prismáticas de dimensiones 4x4x16 cm con pasta de cemento Pórtland y nanofibra de carbono del tipo stacked-cup, con un diámetro exterior que varía entre los 20 y 80 nm y un gran hueco central. Dichas nanofibras presentan una relación de aspecto muy alta, con una longitud de varias micras.

40

Los componentes básicos utilizados han sido:

- Cemento tipo CEM I 52.5 R.
- Relación agua cemento  $a/c=0.5$ .
- Cantidad nanofibra de carbono añadida a la mezcla: 5% respecto masa de cemento.
- Plastificante (SIKA) en proporción variable.

50

Las probetas se curaron sumergidas en agua durante 28 días antes de ser ensayadas.

Después se montaron los componentes eléctricos. Se pintaron bandas de pintura de plata 5 alrededor de las probetas para lograr un buen contacto eléctrico entre el monitor de potencial y la probeta del composite, entonces se rodearon con hilo de cobre 6 firmemente para tener un punto claro de anclaje entre el monitor de potencial y la probeta y que asegure además el contacto eléctrico entre el monitor de potencial y la pintura de plata. La cara superior 1 y la cara inferior 2 también se cubrieron con pintura de plata.

55

En cuanto a los instrumentos de ensayo, la carga de las probetas se realizó mediante una prensa electromecánica modelo EMI/100/FR, suministrada por Microtest S.A. La resistencia eléctrica se midió gracias a un multímetro digital Keithley 2002 suministrado por National Instruments Inc. La intensidad de corriente fue aplicada mediante una fuente externa Keithley 6021 suministrada por National Instruments Inc.

60

Los diferentes ensayos realizados consistieron en monitorizar la resistencia eléctrica de la probeta en la dirección longitudinal mientras se aplicaban ciclos de compresión también longitudinalmente. El valor máximo de carga aplicado en cada ciclo fue de 4 kN, este valor corresponde a menos de un 25% de la carga de rotura del material compuesto, situándose en un punto intermedio dentro de la zona de deformación elástica del composite, en la cual el

65

## ES 2 353 544 B2

comportamiento es óptimo y reversible. La velocidad de carga y descarga fue de 100 N/s ya que se evita que una carga más acelerada produzca efectos similares a impactos, lo cual se traduciría en daños irreversibles al composite. Valores menores de velocidad de carga alargan en exceso el ensayo del material. La intensidad de corriente aplicada fue de 0.1 mA ya que valores superiores producirían la polarización de la disolución intersticial del composite (lo cual enmascara la medida), evitando asimismo reacciones electroquímicas indeseables sobre los electrodos que también afectan al composite y a la monitorización de la deformación. Valores menores de corriente reducían significativamente la sensibilidad del composite al ensayo realizado.

El nivel de percepción de la deformación viene caracterizado por el factor de galga (FG). Este parámetro se define como el cambio fraccional de la resistividad por unidad de deformación ( $\varepsilon$ ). La siguiente ecuación muestra tal relación:

$$FG = \frac{\Delta\rho/\rho}{\varepsilon}$$

En donde FG es el factor de galga,  $\Delta\rho$  es la variación de resistividad [ohm-cm],  $\rho$  es la resistividad inicial [ohm-cm], y  $\varepsilon$  es la deformación aplicada ( $\varepsilon = \Delta L/L$ , siendo L la longitud de la probeta).

Según las referencias consultadas, la magnitud de las deformaciones es muy pequeña, midiéndose por este motivo la resistencia eléctrica en lugar de la resistividad. Las medidas de deformación se realizaron utilizando galgas extensométricas sobre la superficie de las probetas.

El método de medida consiste en introducir la corriente entre las cara superior 1 y la cara inferior 2 de la probeta y la diferencia de potencial se tomó entre los puntos 3 y 4. A partir de los valores de caída de potencial entre los puntos 3 y 4, se calcula la variación de las resistividades correspondientes. La deformación se calculó como la media de los valores registrados por cuatro galgas extensométricas que se situaron en el punto central de cada una de las caras laterales de las probetas, para de esta forma, tener un valor más fiable de la deformación real durante el ensayo de carga.

Las probetas usadas en estos ensayos se almacenaron en un ambiente con humedad relativa del 100% hasta que se estabilizó su peso. La resistividad inicial de las probetas (empleando un método de cuatro puntas) fue aproximadamente de 1575 ohm-cm.

A continuación se muestran los resultados obtenidos después del curado en cámara húmeda.

En la Figura 2 se muestra la evolución de la resistencia eléctrica de una probeta de pasta de cemento con un 5% de adición de nanofibra de carbono con la deformación que sufre dicha probeta al ser sometida a un esfuerzo de compresión axial. Se usó esta proporción de nanofibra ya que tras estudios iniciales, el comportamiento óptimo del composite desde el punto de vista de la monitorización de la deformación se obtenía para esta cantidad. Deformaciones negativas se corresponden con compresiones de la probeta. Como se puede observar, existe una clara relación entre ambos parámetros, a medida que se comprime la probeta se produce una disminución de su resistencia eléctrica, lo cual permite la posibilidad de establecer una relación entre ambos parámetros.

Por otra parte, también se puede apreciar una reversibilidad del comportamiento entre los distintos ciclos de carga a los que es sometida la probeta. Cuando cesa el estado de carga, la resistencia eléctrica de la probeta recupera su valor inicial. Este comportamiento es crítico a la hora de poder tener una buena fiabilidad en la función de percepción de la deformación. La probeta utilizada es 4x4x16 cm de pasta de cemento con adición 5% de nanofibra de carbono, amplitud de carga de 4000 N y velocidad 100 N/s.

En la Figura 3 se muestra la relación entre el incremento unitario de resistencia eléctrica y la deformación unitaria en un ensayo de compresión axial. Probeta de pasta de cemento con 5% de adición de nanofibra de carbono. De la pendiente de dicha relación se obtiene el parámetro que caracteriza la sensibilidad de la función de percepción de la deformación.

# ES 2 353 544 B2

## REIVINDICACIONES

1. Un composite cementicio con adición de nanofibras de carbono que comprende:

5

a. Una matriz cementicia basa en la mezcla de cemento, agua y áridos, presentando esta matriz durante las primeras horas naturaleza plástica, lo que permite darle forma, y que tras un determinado tiempo de varias horas (fraguado) se transforma en un material rígido sensible a las deformaciones.

10

b. Un 5% de nanofibra de carbono respecto a la masa de cemento que se adiciona a los componentes de la matriz cementicia previamente a su amasado.

15

c. Dos contactos eléctricos de pintura de plata aplicada en los extremos de la probeta de composite endurecida que permiten la aplicación de una corriente eléctrica.

d. Dos contactos eléctricos de pintura de plata e hilo de cobre situados perimetralmente en la probeta de composite que permiten la monitorización de la caída de potencial, y en consecuencia de la resistencia eléctrica.

20

2. Un composite cementicio según la reivindicación 1 para monitorizar deformaciones.

3. Uso del composite según la reivindicación 1 para control de vibraciones estructurales, monitorización de tráfico pesado, detección de movimiento en estancias y seguridad de edificios en tiempo real.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

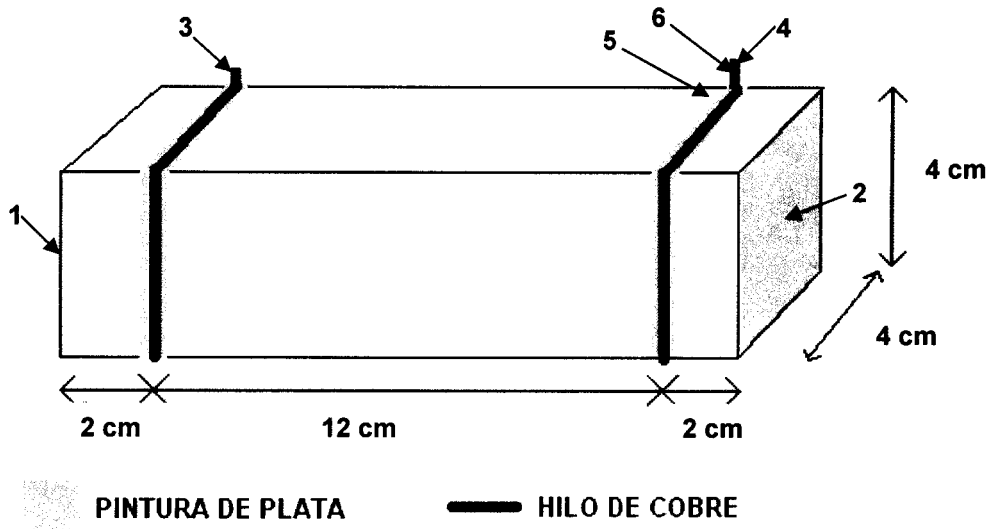


Figura 1

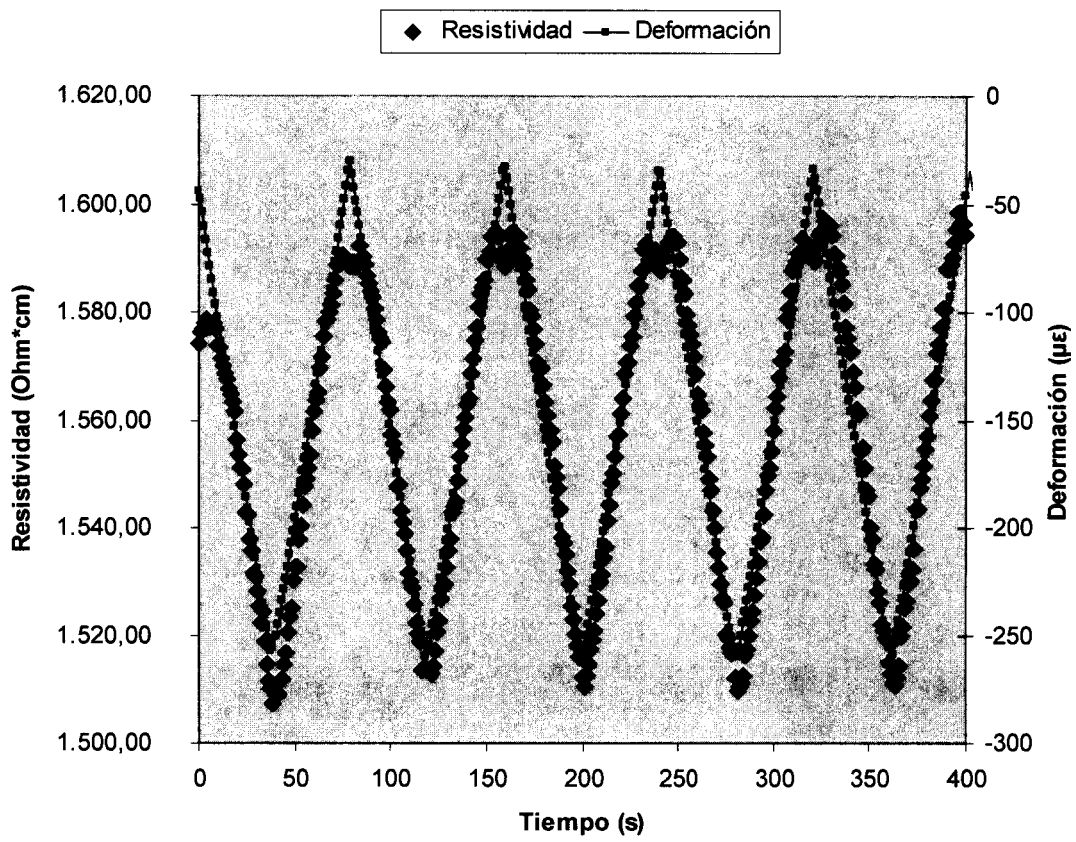
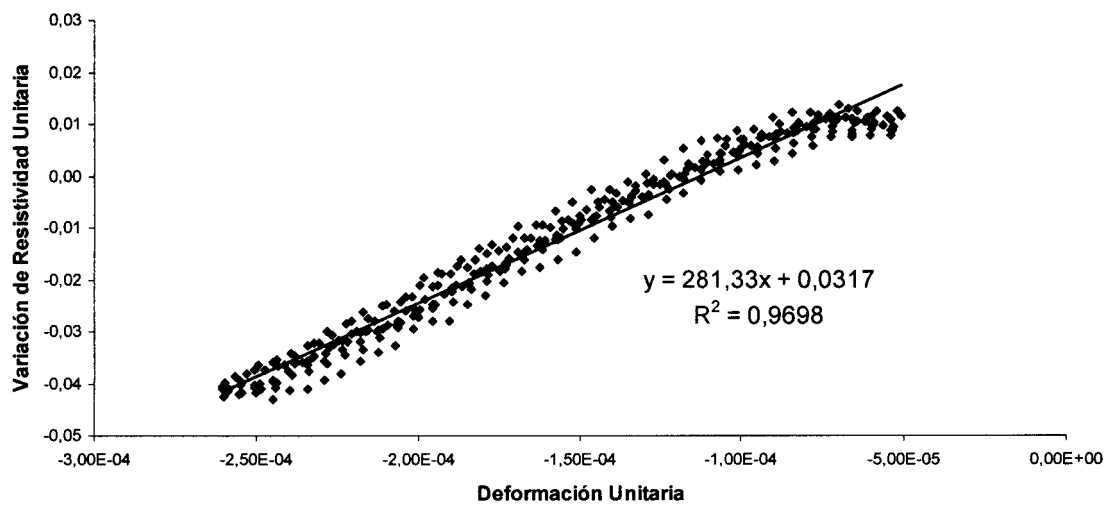


Figura 2



**Figura 3**



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②<sup>1</sup> N.º solicitud: 200901735

②<sup>2</sup> Fecha de presentación de la solicitud: 05.08.2009

③<sup>2</sup> Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤<sup>1</sup> Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 6079277 A (CHUNG) 27.01.2000, columna 2, líneas 53-61.	1-3
A	US 5817944 A1 (CHUNG) 06.10.1998, reivindicaciones 1,12.	1-3
A	EP 718252 A2 (MITSUBISHI CHEMICAL CORP.) 26.06.1996, reivindicación 1.	1-3

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  
18.02.2011

Examinador  
J. García Cernuda Gallardo

Página  
1/4

## CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**C04B28/00** (01.01.2006)

**G01B7/16** (01.01.2006)

**G01L1/20** (01.01.2006)

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

C04B, G01B, G01L

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

WPI, INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 18.02.2011

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-3	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-3	<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	US 6079277 A (CHUNG)	27.01.2000
D02	US 5817944 A1 (CHUNG)	06.10.1998
D03	EP 718252 A2 (MITSUBISHI CHEMICAL CORP.)	26.06.1996

**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**

La solicitud se refiere a un material compuesto cementoso con nanofibras de carbono para verificar deformaciones, que comprende en una matriz basada en cemento, agua y áridos, un 5% de nanofibras de carbono, contactos eléctricos de pintura de plata y dos contacto eléctricos de pintura de plata e hilo de cobre para verificar una caída de potencial y la resistencia eléctrica (reiv. 1) que se usa para verificar deformaciones (reiv. 2) o para el control de vibraciones estructural, verificar el tráfico pesado o detectar movimientos en estancias y seguridad de edificios.

El documento D01 se refiere a métodos y detectores para deformaciones y tensiones, usando un material compuesto polímero que incluye filamentos de carbono y una matriz polímera con conexiones eléctricas de plomo. La composición del material compuesto difiere del compuesto cementoso de la solicitud y las conexiones eléctricas son de plomo, no de plata como en la solicitud.

El documento D02 Se refiere a un detector de deformaciones/tensiones de un material compuesto que comprende un material cementoso, fibras conductoras y contactos eléctricos (reiv. 1), las fibras pueden ser de carbono (reiv. 12).

El documento D03 se refiere a un hormigón reforzado con fibras de carbono. Su composición es similar al material compuesto de la solicitud, pero no incluye medios eléctricos para medir las deformaciones o controlar las vibraciones.

Los documentos D01, D02 y D03 no anticipan las características reivindicadas en la solicitud, por lo que simplemente reflejan el estado de la técnica.

Se considera que la solicitud cumple con los requisitos de novedad y actividad inventiva según los art. 6.1 y 8.1 de la L.P.