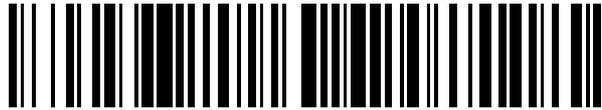


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 913**

21 Número de solicitud: 201690054

51 Int. Cl.:

E01B 1/00 (2006.01)
E01B 2/00 (2006.01)
G01N 29/04 (2006.01)
G01N 29/46 (2006.01)
G06F 17/50 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

01.07.2015

43 Fecha de publicación de la solicitud:

11.06.2018

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2015/070514

71 Solicitantes:

OBRASCÓN HUARTE LAIN, S.A. (90.0%)
Torre Espacio- Paseo de la Castellana, nº 259- D,
planta 17
28046 MADRID ES y
UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA (10.0%)

72 Inventor/es:

LANCHA FERNÁNDEZ, Juan Carlos;
LAUNA ORIOL, Enrique;
ARREDONDO LILLO, Elena;
RUIZ LÓPEZ, Gonzalo;
POVEDA BAUTISTA, Elisa;
CHENGXIANG YU, Rena;
ZHANG, Xiaoxin y
TARIFA CRESPO, Manuel

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE VÍA EN PLACA Y SISTEMA DE VÍA EN PLACA DISEÑADO**

57 Resumen:

Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa y sistema de vía en placa diseñado.

Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa y sistema de vía en placa (1) diseñado con el procedimiento que comprende las siguientes etapas establecer una carga dinámica de un tren objeto de estudio a soportar por la vía en placa (8), establecer una primera geometría de los componentes de la vía en placa (9), realizar un cálculo a fatiga en compresión sobre el sistema de vía en placa (1) por medio de un modelo numérico (12) y componer un mapa de daño (44) del modelo numérico (17) de la placa de hormigón (4) representado el daño en cada nodo en un mapa, dar el diseño del sistema de vía en placa por correcto cuando el daño (44) en ninguno de los nodos excede de un valor de 1 (18). También es objeto de la invención un sistema de vía en placa diseñado con este procedimiento.

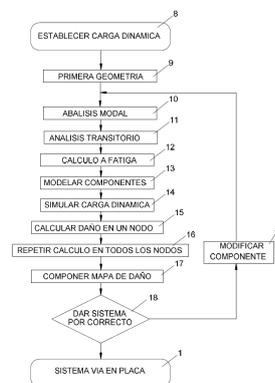


FIG. 1

ES 2 671 913 A1

**PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE VÍA EN PLACA
Y SISTEMA DE VÍA EN PLACA DISEÑADO**

DESCRIPCIÓN

5

Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa, que a partir de un modelo numérico da por válido el diseño de los componentes de la vía en placa evitando la necesidad de construir y ensayar la placa con un tren real tal y como ocurre en la construcción de plataformas ferroviarias con sistemas de vía en placa., también es objeto de la invención un sistema de vía en placa diseñado con el procedimiento expuesto. La invención es de aplicación en el ámbito de la construcción, específicamente en el ámbito de la construcción ferroviaria.

15 **Problema técnico a resolver y antecedentes de la invención**

En la construcción ferroviaria, la vía en placa se trata de una tipología de plataforma que garantiza una alta calidad y capacidad de ajuste geométrica. La necesidad de mantenimiento disminuye con esta solución, comparada con el balasto.

20 La colocación de la placa se realiza sin balasto, sobre una solera continua de hormigón que transmite a la plataforma tensiones uniformemente distribuidas, con una capa intermedia de mortero de cemento y asfalto.

Hasta el momento, para la comprobación del comportamiento de una solución con vía en placa era necesario realizar ensayos a escala real y tramos de prueba con el paso de trenes reales para comprobar el dimensionamiento realizado.

Mediante el procedimiento de diseño objeto de la invención se obtiene una vía en placa cuya respuesta a las solicitaciones a que va a estar sometida durante la vida útil de la vía se conoce de antemano que es capaz de soportarlas, evitando la necesidad de fabricar un tramo de vía en el que se empleen los componentes del sistema de vía en placa objeto de estudio, y evitando la necesidad de comprobar la respuesta de dicha placa a las solicitaciones producidas por trenes reales en un proceso de prueba y error, reduciendo el tiempo empleado en el desarrollo de una vía en placa y por tanto el dinero necesario para nuevos desarrollos.

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa, donde el sistema de vía en placa comprende los siguientes componentes: un carril, una fijación, una placa de hormigón, un cojín de mortero de cemento y asfalto, una solera continua de hormigón situada sobre un terreno; teniendo todos estos componentes una geometría y unos parámetros que los definen, donde se diseña al menos un componente a elegir entre la fijación, la placa de hormigón, el cojín de mortero de cemento y asfalto y la solera continua de hormigón.

5
10

El procedimiento objeto de la invención comprende las siguientes etapas:

- establecer una carga dinámica de un tren objeto de estudio a soportar por la vía en placa, representada como un pulso completo,
- establecer una primera geometría de los componentes de la vía en placa,
- 15 - realizar un análisis modal del sistema de vía en placa,
- realizar un análisis transitorio del sistema de vía en placa,
- realizar un cálculo a fatiga en compresión sobre el sistema de vía en placa por medio de un modelo numérico previamente establecido, que comprende los siguientes pasos:
- 20 - modelar cada componente del sistema de vía en placa en el modelo numérico, introduciendo la primera geometría y unos primeros valores de los parámetros de cada componente,
- simular la carga dinámica a soportar por el sistema de vía en placa de un tren completo, representada mediante un pulso completo correspondiente a la carga dinámica aplicada en cada instante,
- 25 - calcular el daño generado en un nodo de la placa de hormigón,
- repetir el cálculo del daño en todos los nodos de la placa,
- componer un mapa de daño del modelo numérico de la placa de hormigón representado el daño en cada nodo en un mapa, y
- 30 - dar el diseño del sistema de vía en placa por correcto cuando el daño en ninguno de los nodos excede de un valor de 1.

Los pasos de establecer una carga dinámica de un tren objeto de estudio a soportar por la vía en placa, representada como un pulso completo y de establecer una primera geometría de los componentes de la vía en placa, se pueden realizar de manera

35

simultánea o invirtiendo el orden.

En el procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa objeto de la invención el paso de calcular el daño generado en un nodo se realiza con el siguiente procedimiento:

5

- extraer la historia de una tensión principal de compresión en ese nodo del pulso completo correspondiente a la carga dinámica aplicada en cada instante en el nodo,
- contar los ciclos de fatiga de la tensión principal de compresión mediante un algoritmo conocido, en el que se agrupan los ciclos contados por niveles de tensión y se suman los ciclos con el mismo nivel de tensión,
- calcular el número de ciclos que es capaz de resistir el hormigón para cada nivel de tensión mediante una formulación conocida,
- obtener el daño en el nodo para cada nivel de tensión dividiendo el número de ciclos de fatiga de la tensión principal de compresión contados entre el número de ciclos que es capaz de resistir el hormigón para cada nivel de tensión,
- hallar el daño total en ese nodo sumando el daño para cada nivel de tensión.

10

15

En el procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa objeto de la invención para calcular el número de ciclos que es capaz de resistir el hormigón para cada nivel de tensión se emplea una formulación a elegir entre: Código Modelo 2010, modelo propuesto por Castillo et al, propuesta de Hsu et al y la normativa vigente en el modelo del cálculo.

20

25

El procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa objeto de la invención cuando el daño en algún nodo de la placa supera un valor de 1, comprende los pasos adicionales de:

30

35

- modificar al menos un valor a elegir entre la primera geometría y los parámetros que definen el carril, la fijación, la placa de hormigón, el cojín de mortero de cemento y asfalto, la solera continua de hormigón,
- volver a realizar el cálculo a fatiga en compresión por medio de un modelo numérico previamente establecido,
- componer un mapa de daño del modelo numérico de la placa de hormigón representado el daño en cada nodo en un mapa, y
- dar el diseño del sistema de vía en placa por correcto cuando el daño en

ninguno de los nodos excede de un valor de 1.

5 En la etapa de modificar al menos un valor a elegir entre la geometría y los parámetros que definen la fijación, la placa de hormigón, el cojín de mortero de cemento y asfalto y la solera continua de hormigón del procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa objeto de la invención se modifica en primer lugar un espesor de la placa de hormigón.

10 En la etapa de modificar al menos un valor a elegir entre la geometría y los parámetros que definen la fijación, la placa de hormigón, el cojín de mortero de cemento y asfalto y la solera continua de hormigón del procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa objeto de la invención se modifica al menos un valor a elegir entre una resistencia a compresión, un módulo elástico y un coeficiente de Poisson de los parámetros que definen la placa hormigón.

15

En el procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa objeto de la invención la carga dinámica a soportar por el sistema de vía en placa procedente de un tren objetivo representada mediante un pulso completo, se simula a partir de un pulso correspondiente a un bogie conocido de un tren cualquiera, y comprende los siguientes pasos:

20

- realizar un escalado temporal del pulso del bogie conocido, mediante un cambio de una base de tiempos del tren conocido a una base de tiempos del tren objetivo, obteniendo un pulso temporalmente escalado,
- componer un pulso de un tren temporalmente escalado correspondiente al tren objetivo, repitiendo el pulso temporalmente escalado para los bogies de coches y de locomotoras del tren objetivo,
- realizar un escalado en amplitud del pulso de un tren temporalmente escalado correspondiente al tren objetivo, multiplicando el pulso de un tren temporalmente escalado correspondiente al tren objetivo por un factor,
- 30 - obtener un pulso completo correspondiente al tren completo, para adecuar el pulso completo al peso total del tren completo.

En el procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa objeto de la invención la carga dinámica a soportar por el sistema de vía en placa procedente de un tren objetivo representada mediante un pulso completo, se obtiene a partir de unos datos reales, y

35

comprende los siguientes pasos:

- recoger datos de registros de trenes reales, representados como pulsos reales, y para cada pulso real,
- 5 - realizar un escalado temporal del pulso real, mediante un cambio de una base de tiempos del tren conocido a una base de tiempos del tren objetivo,
- realizar un escalado en amplitud, multiplicando el pulso temporalmente escalado por un factor obteniendo un pulso completo correspondiente al tren objetivo,
- aplicar la transformada de Fourier descomponiendo el pulso real en armónicos,
- 10 - hallar espectro medio de las señales,
- aplicar anti-transformada de Fourier.

En el procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa objeto de la invención realizar el análisis modal comprende calcular los modos propios de vibración y
15 frecuencias naturales asociadas a cada modo propio de vibración.

En el procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa objeto de la invención la etapa de hallar el daño acumulado para cada nodo se realiza mediante la ley de Palmgren-Miner que suma el daño obtenido en los ciclos para cada nivel de tensión.
20

Es también objeto de la invención un sistema de vía en placa que se ha diseñado por el procedimiento divulgado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

Descripción de las figuras

25 Para completar la descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, se acompaña a esta memoria descriptiva, como parte integrante de la misma, un conjunto de dibujos en dónde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

30 La figura 1 muestra un diagrama de bloques con los pasos del procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa.

La figura 2 muestra un diagrama de bloques con los pasos para elaborar un pulso completo de un tren objeto de estudio a partir de un pulso conocido de un bogie.

35

La figura 3 muestra un diagrama de bloques con los pasos para elaborar un pulso completo de un tren objeto de estudio a partir de un pulso real de un tren.

5 La figura 4 muestra un diagrama de bloques con las etapas del cálculo a fatiga en compresión por medio de un modelo numérico.

10 La figura 5 muestra una vista en planta de la realización preferente de la placa de hormigón empleada en el sistema de vía en placa objeto de diseño con el procedimiento objeto de la invención.

En la figura 6 se puede observar el modelado de la mitad simétrica de la placa de hormigón, así como de las fijaciones correspondientes.

15 La figura 7 muestra una sección transversal de la modelización del carril.

En la figura 8 se puede observar la modelización de la mitad simétrica del sistema la vía en placa objeto de diseño incluyendo el carril, las fijaciones, la placa de hormigón, el cojín de mortero de cemento y asfalto y la solera continua de hormigón.

20 En la figura 9 se puede observar una modelización de la mitad simétrica del sistema de vía en placa del modelo de elementos finitos incluyendo el terreno además de los elementos de la figura 8.

25 En la figura 10 se observa la configuración genérica de un Tren Dinámico Universal Tipo A.

La figura 11 muestra el pulso correspondiente a un bogie conocido de un tren cualquiera.

30 La figura 12 muestra el pulso del tren tipo A mostrando en el eje x el tiempo en segundos y en el eje y la carga en kN.

35 La figura 13 muestra el pulso de la figura 12 en armónicos mostrando en el eje x el tiempo en segundos y en el eje y la frecuencia en Hz.

La figura 14 muestra la evolución en el tiempo de la máxima tensión equivalente sobre la placa central tras aplicar el pulso de la figura 12 mostrando en el eje x el tiempo en segundos y en el eje y la tensión equivalente en MPa.

- 5 La figura 15 representa la evolución en el tiempo del asiento sobre la placa central tras aplicar el pulso de la figura 12 mostrando en el eje x el tiempo en segundos y en el eje y el asiento en mm.

- 10 La figura 16 muestra el pulso completo de la carga calculado a partir de registros de datos reales para el tren AVES103 mostrando en el eje x el tiempo en segundos y en el eje y la carga en kN.

- 15 La figura 17 representa la distribución de la tensión equivalente expresada en MPa en la placa central para el instante 0,224 segundos contados desde que el tren tipo A llega a la primera placa, los diferentes valores de la tensión equivalente se muestran con diferentes tramados.

- 20 La figura 18 muestra el asiento de la placa central en el instante 0,224 segundos contado desde que el tren tipo A llega a la primera placa, los diferentes valores del asiento se muestran con diferentes tramados.

- 25 La figura 19 representa la historia de tensiones amplificadas por un factor de 5, para el nodo más desfavorable de la placa central, resaltando con línea más gruesa la tensión de compresión.

- La figura 20 muestra el mapa de daño por fatiga en la placa central amplificando la carga del tren tipo A por un factor de 5, los diferentes valores del daño se muestran con diferentes tramados.

- 30 Las referencias que se reflejan en las figuras corresponden a los siguientes elementos:

- 1.- sistema de vía en placa,
- 2.- carril,
- 3.- fijación
- 4.- placa de hormigón,
- 35 5.- cojín de mortero de cemento y asfalto,

- 6.- solera continua de hormigón,
- 7.- terreno,
- 8.- establecer una carga dinámica de un tren objeto de estudio a soportar por la vía en placa,
- 5 9.- establecer una primera geometría de los componentes de la vía en placa,
- 10.-realizar un análisis modal,
- 11.-realizar un análisis transitorio,
- 12.-realizar un cálculo a fatiga en compresión sobre el sistema de vía en placa por medio de un modelo numérico,
- 10 13.-modelar cada componente del sistema de vía en placa,
- 14.-simular la carga dinámica a soportar por el sistema de vía en placa de un tren completo, representada mediante un pulso completo,
- 15.-calcular el daño generado en un nodo,
- 16.-repetir el cálculo del daño en todos los nodos de la placa,
- 15 17.-componer un mapa de daño del modelo numérico,
- 18.-dar el diseño del sistema de vía en placa por correcto cuando el daño en ninguno de los nodos excede de un valor de 1,
- 19.-extraer la historia de una tensión principal de compresión en ese nodo,
- 20.-contar los ciclos de fatiga de la tensión principal de compresión,
- 20 21.-calcular el número de ciclos que es capaz de resistir el hormigón para cada nivel de tensión,
- 22.-obtener el daño en el nodo para cada nivel de tensión,
- 23.-hallar el daño total en ese nodo,
- 24.-modificar al menos un valor,
- 25 25.-espesor de la placa de hormigón,
- 26.-pulso correspondiente a un bogie conocido,
- 27.-realizar un escalado temporal,
- 28.-componer un pulso de un tren temporalmente escalado correspondiente al tren objetivo,
- 30 29.-realizar un escalado en amplitud,
- 30.-obtener un pulso completo correspondiente al tren completo,
- 31.-recoger datos de registros de trenes reales,
- 32.-escalado temporal del pulso real,
- 33.-aplicar la transformada de Fourier,
- 35 34.-hallar espectro medio de las señales,

- 35.-aplicar anti-transformada de Fourier,
36.-aligeramiento central;
37.-bocado,
38.-pulso completo,
5 39.-longitud de coche,
40.-distancia entre ejes,
41.-pulso en armónicos,
42.-tensión equivalente,
43.-asiento, y
10 44.-daño.

Descripción de una forma de realización de la invención

A continuación se expone una descripción de un ejemplo de realización de la invención, haciendo alusión a las referencias de las figuras.

15

Un sistema de vía en placa (1) está formado por los siguientes elementos, descritos desde la zona de contacto con el tren hasta la zona más alejada del tren:

- carril (2) UIC-60 (modelización observable en la figura 7),
- fijación (3),
- 20 - placa de hormigón (4),
- cojín de mortero de cemento y asfalto (5),
- solera continua de hormigón (6), y
- terreno (7).

25 El procedimiento objeto de la invención trata de, a partir de un diseño preliminar de un sistema de vía en placa (1) definido por una primera geometría y unos primeros valores de los parámetros de los componentes del sistema de vía en placa (1), comprobar el comportamiento de dicho diseño preliminar de un sistema de vía en placa (1) frente a las cargas de proyecto, en especial el comportamiento a fatiga en compresión, dicho
30 comportamiento se comprueba a partir de un modelo numérico desarrollado para el procedimiento objeto de la invención, que proporciona un mapa de daño (44) de la predicción del comportamiento del sistema de vía en placa (1), a través del cual se acepta o no la primera geometría y los primeros valores de los parámetros de los componentes del sistema de vía en placa (1).

35

En el modelo numérico es necesario introducir valores de los parámetros de los componentes del sistema de vía en placa (1). Los valores de estos parámetros se conocen bien a través de ensayos experimentales o bien se extraen de bibliografía especializada. Estos parámetros son: resistencia a compresión f_c , módulo elástico E,
5 coeficiente de Poisson ν , densidad ρ y fracción del amortiguamiento crítico ζ .

En primer lugar es necesario conocer las dimensiones de los componentes del sistema de vía en placa (1) del que se quiere comprobar su comportamiento para modelar cada componente en el modelo numérico del sistema de vía en placa (13). Para la
10 realización preferente de la invención se ha elegido una geometría de placa de hormigón (4) rectangular que tiene un aligeramiento central (36) y dos bocados (37) de forma semicircular situados en el centro de los lados más pequeños de la placa de hormigón (4) (esta geometría se puede observar en la figura 5), dichos bocados (37) se corresponden con un tope cilíndrico de hormigón (no representado) existente entre las
15 placas de hormigón (4) que absorbe los esfuerzos laterales y longitudinales de las placas de hormigón (4).

Las dimensiones de la placa de hormigón (4) elegida en la realización preferente de la invención son: longitud 5,13 metros, anchura 2,50 metros y espesor (25) 0,22 metros,
20 y las dimensiones del aligeramiento central (36) son longitud 2,99 metros, anchura 0,79 metros y espesor 0,22 metros.

Es necesario conocer el número óptimo de placas de hormigón (4) que se van a considerar para obtener un comportamiento representativo de la superestructura del sistema de vía en placa (1). Para la realización preferente de la invención se
25 consideran tres placas de hormigón (4) unidas por los topes cilíndricos, es decir la longitud del modelo numérico es de 15,53 metros, que corresponde a tres placas de hormigón (4) separadas por siete centímetros (5,13+0,07+5,13+0,07+5,13 metros).

30 En el modelo numérico empleado en el procedimiento objeto de la invención se emplea un programa de cálculo basado en el método de elementos finitos. El cálculo del modelo numérico se realiza en régimen elástico.

La geometría de la placa de hormigón (4) del sistema de vía en placa (1) objeto de
35 diseño, en la realización preferente de la invención presenta simetría respecto un eje

principal lo que representa una simplificación a tener en cuenta en el modelo numérico debido a que sólo se modela la mitad simétrica de la placa de hormigón (4). El que el modelado de la placa de hormigón (4) se haga sólo con la mitad de la placa de hormigón (4) supone un ahorro en el tiempo de cálculo del modelo numérico.

5

Con esta primera geometría de los componentes del sistema de vía en placa se realizan dos análisis:

- Un análisis modal (10): calcula los modos propios de vibración y las frecuencias naturales asociadas a cada modo.
- 10 - Un análisis transitorio (11): calcula la respuesta de la placa de hormigón (4) a una carga dinámica transitoria.

El análisis modal (10) predice el comportamiento dinámico del sistema de vía en placa (1), determinando las frecuencias naturales y los modos de vibración asociados, considerando que las estructuras tienen tantos modos de vibración como grados de libertad. El determinar las frecuencias naturales y los modos de vibración asociados a ellas se realiza para comprobar que la vía en placa (1) no entra en resonancia según el dimensionamiento realizado, es decir, que la combinación de los modos de vibración considerados haga que la carga aplicada se magnifique y consecuentemente el daño (44) producido al sistema de vía en placa (1) también se magnifique.

20

Dicho análisis modal (10) se resuelve mediante la ecuación:

$$[M]\ddot{u} + [K]u = 0$$

25 donde $[M]$ es la matriz de masas, \ddot{u} es la aceleración, $[K]$ es la matriz de rigidez, y u es el desplazamiento.

Los modos de vibración considerados en el modelo numérico son:

- los producidos a baja frecuencia,
- 30 - aquellos con una frecuencia propia igual a la frecuencia del espectro de carga a que se somete la estructura,
- aquellos en los que coincide espacialmente el punto de aplicación de la carga y la zona más desfavorable del análisis modal (10),
- aquellos en los que el sentido de vibración propio de la estructura está en fase

con la carga aplicada.

El análisis transitorio (11) es un cálculo dinámico mediante el cual se calcula la respuesta lineal de una estructura ante cargas variables en el tiempo, por lo que
 5 necesita una entrada de datos correspondiente a la carga aplicada en cada instante de tiempo.

Para realizar el análisis transitorio (11) se emplea la ecuación:

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = F(t)$$

10

En la ecuación anterior, el término $[M]$ representa la inercia del sistema, $[C]$ el amortiguamiento que se opone a la velocidad y $[K]$ la rigidez del sistema; \ddot{u} la aceleración, \dot{u} la velocidad y u el desplazamiento.

15 El amortiguamiento se conoce como la capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía. El amortiguamiento en la vía en placa se traduce en la capacidad del hormigón para disipar la energía proporcionada por la carga actuante del tren.

En el análisis transitorio (11), dado que la matriz de amortiguamiento es un elemento
 20 difícil de determinar experimentalmente, se realiza la hipótesis de que la matriz de amortiguamiento es una combinación lineal de las matrices de rigidez y de masa, así pues dicha matriz de amortiguamiento se expresa como:

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K]$$

25 En la ecuación anterior se considera despreciable el multiplicador de la matriz de masas α , asumiendo que la estructura amortigua mucho donde es muy rígida, el grado de amortiguamiento se expresa en función de la fracción de amortiguamiento crítico del material y de la frecuencia (f) de mayor amplitud de la carga aplicada.

$$\beta = \frac{\zeta_i}{\pi f}$$

30

Las acciones aplicadas sobre la estructura a muy baja frecuencia producen

velocidades y aceleraciones muy bajas frente a unos desplazamientos relativamente grandes, es decir, el sistema se comporta como si fuera estático. A medida que la frecuencia de las acciones aumenta, el término del amortiguamiento cobra importancia, pero a frecuencias muy altas el valor de se hace muy bajo, y por lo tanto el término del amortiguamiento de la ecuación general de la dinámica, pierde mucho peso en favor del término que representa la inercia.

Introduciendo en el modelo numérico los datos anteriores de la carga en cada instante y realizando el citado análisis transitorio (11), se obtiene la evolución de la máxima tensión equivalente (42), en la placa central (observable en la figura 14). La figura 15 representa la evolución en el tiempo del asiento (43) sobre la placa de hormigón (4) central tras aplicar el pulso completo (38). Estos valores máximos corresponden a diferentes nodos de la placa de hormigón (4) central según el instante. Así el máximo valor de la tensión equivalente (42) se produce a 0,224 s y el máximo asiento (43) a 3,732 s desde que el tren llega a la primera placa (de las tres placas que se han considerado para el modelo numérico). La máxima tensión equivalente (42) de 0,64 MPa se alcanza a los 0,224 s alrededor de la esquina interior de la placa de hormigón (4).

Las figuras 17 y 18 representan, respectivamente, la distribución de la tensión equivalente (42) en el instante correspondiente a 0,224 s, y el asiento (43) en ese mismo instante, para la mitad de la placa de hormigón (4) modelada en el modelo numérico.

En la figura 6 se puede observar el modelado de la mitad simétrica de una de las placas de hormigón (4) con ocho fijaciones (3) distanciadas entre sí 0,65 metros desde el centro de gravedad de las fijaciones (3).

El carril (2) se modela con un elemento uniaxial de dos nodos con seis grados de libertad en cada nodo, (traslación y rotación en las direcciones de los tres ejes). En la figura 7 se puede observar una sección transversal de la modelización del carril (2).

Para introducir la placa de hormigón (4) en el modelo numérico se utiliza un elemento volumétrico de 8 nodos con tres grados de libertad por nodo (traslación en los tres ejes). Para introducir en el modelo numérico los valores de los parámetros del

hormigón de la placa de hormigón (4) se han utilizado los valores que se corresponden con un hormigón de resistencia estándar, y respecto al módulo elástico, se considera el que corresponde habitualmente al hormigón armado.

- 5 Para introducir la fijación (3) en el modelo numérico se ha realizado una simplificación, y se introduce empleando también el elemento volumétrico de 8 nodos con tres grados de libertad por nodo (traslación en los tres ejes), simulando la fijación (3) con una longitud aproximada de 0,35 metros. La fijación (3) se representa por un sólido deformable que conecta el carril (2) con la superficie de la placa de hormigón (4), en el
10 que se restringe el movimiento entre la fijación (3) y la placa de hormigón (4) al movimiento de un sólido rígido.

Como ya se ha expuesto en el sistema de vía en placa (1) bajo la placa de hormigón (4) se encuentra un cojín de mortero de cemento y asfalto (5), para la introducción en el
15 modelo numérico dicho cojín de mortero de cemento y asfalto (5) se ha modelado con el elemento volumétrico de 8 nodos con tres grados de libertad por nodo (traslación en los tres ejes) ya empleado. En la realización preferente del sistema de vía en placa (1) el cojín de mortero de cemento y asfalto (5) tiene forma rectangular y se distribuye a los dos lados del aligeramiento central (36) de la placa de hormigón (4). Las dimensiones
20 del cojín de mortero de cemento y asfalto (5) en la realización preferente de la placa son: longitud 5,13 metros, anchura 0,85 metros y espesor 0,10 metros.

Igualmente, por debajo del cojín de mortero de cemento y asfalto (5) se encuentra una solera continua de hormigón (6) a lo largo de las tres placas de hormigón (4)
25 consideradas en el modelo numérico, lo que da una longitud total de solera continua de hormigón (6) de 15,53 metros. Para la introducción en el modelo numérico, la solera continua de hormigón (6) se modela con el elemento volumétrico de 8 nodos con tres grados de libertad por nodo ya empleado (traslación en los tres ejes). La geometría completa del modelo numérico incorporando la placa de hormigón (4), el cojín de
30 mortero de cemento y asfalto (5), la solera continua de hormigón (6), las sujeciones (3) y el carril (2) se puede ver en la figura 8.

Bajo la solera continua de hormigón (6), se encuentra el terreno (7) sobre el que reposa el resto de componentes del sistema de vía en placa (1) señalado en el párrafo
35 anterior. Dicho terreno (7), para su introducción en el modelo numérico, se ha

modelado en diferentes capas empleando el mismo elemento volumétrico de 8 nodos con tres grados de libertad por nodo (traslación en los tres ejes).

5 Es necesario determinar hasta qué profundidad se debe modelar el terreno (14) en el modelo numérico. Para determinar esta profundidad es necesario calcular hasta qué punto afectan las cargas aplicadas sobre la placa de hormigón (4) objeto de la invención al terreno. Para este cálculo se ha establecido que la profundidad límite es la profundidad a la que aplicada una carga en la superficie se produce un desplazamiento prácticamente nulo y constante.

10

Para el cálculo anterior se calcula el incremento de esfuerzo (σ_v) en el terreno (14) producido por una carga puntual vertical en función de la profundidad, mediante la ecuación:

$$\sigma_v = \frac{3 Q z^2}{2 \pi (r^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}}$$

15

siendo:

- Q: carga aplicada al terreno;
- r: distancia radial al punto calculado (en m);
- z: profundidad del suelo (en m).

20

Empleando esta expresión y tomando una carga Q de 75kN (la carga puntual vertical), se obtiene que a los 4,5 metros de profundidad la tensión vertical σ_v es casi despreciable, por lo que según cálculos se debe considerar un espesor mínimo de 4,5 metros, para estar del lado de la seguridad, en el modelo numérico de la realización preferente de la invención se modela un espesor de terreno (7) igual a 6,3 metros.

25

30 En las condiciones de contorno, se imponen las restricciones correspondientes a la simetría de la placa de hormigón (4) y del resto de componentes, y las restricciones de los laterales de la solera continua de hormigón (6), del terreno (7). Con respecto a la placa de hormigón (4), se impide el movimiento en el eje transversal de la zona del modelo en contacto con el plano de simetría, así como del cojín de mortero de cemento y asfalto (5), de la solera (6) y del terreno (7). Respecto al terreno (7), la solera continua de hormigón (6) y el carril (2) se impide el movimiento longitudinal en los dos

extremos del modelo numérico.

En la figura 9 se puede observar la modelización completa de la mitad simétrica de los componentes del sistema de vía en placa (1) incluyendo también el terreno (7) sobre el que se apoya la solera continua de hormigón (6).

Además es necesario conocer la carga dinámica a que va a estar sometido el sistema de vía en placa (1), en este caso es la carga dinámica generada por un tren considerando todos los coches y las locomotoras de dicho tren.

10

El procedimiento objeto de la invención se simula la carga dinámica de un tren objeto de estudio a soportar por el sistema de vía en placa mediante un pulso completo (14) correspondiente a la carga dinámica aplicada en cada instante.

15 Para representar la carga dinámica aplicada en función del tiempo, el procedimiento objeto de la invención emplea un pulso completo (38), dicho pulso completo (38) se corresponde con el pulso que produce el mayor daño (44) en la placa de hormigón (4).

Para obtener dicho pulso completo (38) es necesario obtener la función de densidad del espectro de frecuencias o espectro de la señal, que es una función positiva y real de frecuencia variable, asociada a un proceso estocástico o una función determinista en el tiempo que nos ayuda a identificar periodicidades. Esta función muestra la amplitud de las vibraciones con la frecuencia.

25 El pulso completo (38) se puede construir a partir de datos reales recogidos en una sección de la vía (representados como un pulso real de un tren), o a partir de un pulso de un bogie conocido (26).

En la realización en la que se construye un pulso completo (38) de un tren real a partir del pulso de un bogie conocido (26), se considera un tren que aparece en la Instrucción sobre Acciones y Puentes de Ferrocarril (IAPF), como Tren Dinámico Universal A.

El Tren Dinámico Universal A (observable en la figura 10) está constituido por dos locomotoras y diez coches, con un peso por eje de 187 kN y 120 kN respectivamente, lo que hace un peso total de 6.296 kN. La longitud total del tren es de 295,4 m.

35

Volviendo a la figura 10, la longitud de cada coche (39) en metros es 26,1 metros y de cada locomotora es de 17,2 metros, mientras que la distancia entre ejes (40) es igual para la locomotora y los coches, e igual a 3 metros. Este circula a una velocidad de 300 km/h.

5

Para construir el pulso completo (38) del Tren Dinámico Universal Tipo A, se le aplica un escalado temporal (27) y un escalado en amplitud (29) al pulso del bogie conocido (26) (observable en la figura 11).

- 10 El escalado temporal (27), se realiza porque no coinciden la distancia entre ejes de los bogies del Tren Dinámico Universal A del que queremos conocer el pulso completo (38) y la distancia entre ejes del tren del que procede el pulso del bogie conocido (26) (al pertenecer a un tren cualquiera), así pues se debe cambiar la base de tiempos del pulso del bogie conocido (26) y adecuarla al Tren Dinámico Universal Tipo A del que
15 queremos conocer el pulso completo (38).

De forma simplificada, conociendo las longitudes y distancias entre ejes de las locomotoras y de los coches que forman el Tren Dinámico Universal Tipo A, y la velocidad a la que circulan, se puede construir el pulso completo (38) de un tren a partir
20 de los datos del pulso del bogie conocido (26), realizando el escalado temporal del pulso del bogie conocido (26) y repitiendo el citado pulso ya temporalmente escalado para cada bogie del tren, tanto para las locomotoras como para los coches. Posteriormente se yuxtaponen todos los pulsos temporalmente escalados correspondientes a las dos locomotoras y a los diez coches que forman el Tren
25 Dinámico Universal Tipo A, y se obtiene un pulso temporalmente escalado para un tren completo que tiene la misma forma que la que tiene el pulso del Tren Dinámico Universal Tipo A, pero tiene una magnitud no acorde con el peso del Tren Dinámico Universal Tipo A. Para adecuar el pulso temporalmente escalado de un tren completo, al peso del Tren Dinámico Universal Tipo A, se realiza el escalado en amplitud (29).

30

Dicho escalado en amplitud (29) consiste en hallar un factor por el que multiplicar el pulso temporalmente escalado de un tren completo que nos garantice que pulso obtenido con el escalado en el tiempo se corresponde con el peso de ese tren.

- 35 El espectro de señal se obtiene procesando el registro de la carga del tren (figura 12)

por la aplicación de la transformada de Fourier en el dominio del tiempo, así se descompone el pulso en armónicos (41) que se producen a diferentes frecuencias, (observable en la figura 13), donde cada armónico se identifica con ciertas partes del tren. En la figura 13 se puede observar que la amplitud de los armónicos decrece
5 progresivamente, debido al amortiguamiento propio de la estructura.

La otra opción para construir el pulso completo (38) de un tren es hacerlo a partir de la señal real de un tren obtenida en un registro de señales reales

10 El registro de señales reales, en la realización preferente de la invención, procede de un tren con las siguientes características: longitud total 200,84 metros con 8 coches (con dos bogies por coche y dos ejes por bogie) y masa total 484,6 toneladas.

Este registro de señales reales requiere de un tratamiento para adecuarlo al tren objeto
15 de estudio, para ello, se hace coincidir el primer eje de todas las señales para tener medidas equivalentes, a continuación se realiza el escalado temporal del pulso real (32), de modo que se cambia la base de los tiempos para que el instante que transcurra entre el primer y el último eje coincida con el tiempo que transcurriría para un tren circulando a una velocidad de cálculo (en este caso se han estimado 300 km/h),
20 teniendo en cuenta la longitud del tren; seguidamente se realiza el escalado en amplitud (29), en el que se busca un factor por el que multiplicar el pulso temporalmente escalado, garantizando que el pulso obtenido en el escalado en amplitud se corresponde con el peso total del tren, obteniendo así el pulso completo (38) de un tren.

25

Una vez se ha realizado el doble escalado (32, 29), se trata de obtener una señal media, para lo que, aplicando la transformada de Fourier (33) en el dominio del tiempo, se pasa al espectro en frecuencia descomponiendo el pulso en armónicos que se producen a diferentes frecuencias, y se halla un espectro medio de todas las señales
30 (34), para aplicando una anti-transformada de Fourier (35) volver a la señal original.

En la figura 16 aparece reflejado el pulso de carga de este tren real a partir del procedimiento descrito anteriormente para una velocidad de 300 km/h.

35 En el procedimiento objeto de la invención se realiza el cálculo a fatiga en compresión

mediante el modelo numérico previamente establecido (12), sobre la placa de hormigón (4), de modo que se obtiene el daño (44) generado por los ciclos de carga producidos. Para el cálculo del citado daño (44) en un nodo se siguen los siguientes pasos:

- 5 - extraer la historia de tensiones en la dirección de la máxima tensión principal de compresión detectada en el análisis transitorio (11) en ese nodo (19) del pulso completo (38),
- contar los ciclos de fatiga de la tensión principal de compresión (20) mediante un algoritmo conocido, en el que se agrupan los ciclos contados por niveles de tensión y se suman los ciclos con el mismo nivel de tensión,
- 10 - calcular el número de ciclos que es capaz de resistir el hormigón para cada nivel de tensión (21) mediante una formulación conocida,
- obtener el daño (44) en el nodo para cada nivel de tensión (22) dividiendo el número de ciclos de fatiga de la tensión principal de compresión contados entre el número de ciclos que es capaz de resistir el hormigón para cada nivel de
- 15 tensión,
- hallar el daño (44) total en ese nodo (23) sumando el daño (44) para cada nivel de tensión.

La figura 19 representa la historia de tensiones para uno de los nodos de la placa. En ella podemos apreciar: las tensiones principales, σ_1 , σ_2 y σ_3 , la tensión de compresión resaltada con línea más gruesa, σ_C , y la tensión equivalente (42), S_{eqv} .

Los valores de tensión que aparecen en la figura 19 han sido amplificados por un factor de 5 para obtener valores significativos de daño (44).

Para contar los ciclos de fatiga de la tensión principal de compresión (20) se aplica el algoritmo desarrollado por Downing y Socie. Se cuentan los ciclos de la tensión de compresión, σ_C , en la curva tensión-tiempo de la figura 19, con el objetivo de

30 buscar y contar los ciclos cerrados. De forma resumida, el procedimiento es el siguiente:

- a cada valor de la tensión de compresión se le asigna un punto.
- cada ciclo de la figura 19 está constituido por tres de estos puntos.
- para formar un ciclo cerrado se debe dar la siguiente condición: el valor de
- 35 tensión del tercer punto, ha de ser mayor o igual que el del primero, de lo

contrario proseguimos con el siguiente punto hasta que se dé esa condición.

- cuando se forma un ciclo se excluyen esos puntos y se continúa con el conteo de los puntos adyacentes.

- 5 Para el cálculo del daño (44) y la estimación de la vida en fatiga para un espectro de niveles de carga para ciclos de diferente amplitud, en el procedimiento objeto de invención se recurre a la ley de Palmgren-Miner.

De acuerdo con la ley de Palmgren-Miner, el daño (44) ejercido por un sólo ciclo es
 10 inversamente proporcional al número de ciclos de la misma amplitud que pueden provocar la rotura, aplicándose la ecuación expuesta a continuación:

$$D_i = \frac{n_i}{N_i}$$

donde D_i es el daño (44) en fatiga para un cierto nivel y amplitud de la tensión, n_i es el
 15 número de ciclos de tensión que hemos contado aplicando para ese nivel de tensión y amplitud, y N_i es el número de ciclos que producen la rotura para ese mismo nivel.

Esta formulación permite hacer una estimación del daño (44) acumulado al aplicar
 sobre la placa ciclos de amplitudes diferentes. Según esta formulación, la rotura se
 20 produce cuando $D = 1$.

$$D = \sum_{i=1}^{i=k} D_i$$

Volviendo al ejemplo, en la citada figura 19, aparece representada la historia de la
 tensión. Usando esta curva se cuentan los ciclos siguiendo el algoritmo de Downing y
 25 Socie y se acumulan en una matriz. Para esos niveles de tensión, se calcula el número de ciclos que resiste mediante el Código Modelo (Código Modelo 2010).

Finalmente, se obtiene el daño (44) dividiendo el número de ciclos contados entre el
 número de ciclos que resiste para cada nivel de tensión. Sumando todos los valores de
 30 daño (44) de la matriz anterior obtenemos el daño (44) total en ese nodo, ya que el daño (44) total siguiendo la ley de Palmgren-Miner se calcula sumando el daño (44)

provocado por ciclos con amplitudes de tensión variables, como es el caso de la historia de tensiones provocada por la carga de un tren.

5 Repitiendo este procedimiento para todos los nodos de la placa se obtiene el mapa de daño (44) por fatiga. La figura 20 muestra el mapa de daño (44) de la placa central aplicando la carga del tren tipo A, multiplicada por un factor de amplificación dinámica para tener en cuenta imperfecciones en el carril (2) o en el material rodante. Como se puede apreciar en esta figura 20, las zonas con mayor daño (44) se encuentran debajo de las sujeciones (3) centrales, en especial en la tercera y la cuarta.

10

Para considerar la señal que más daño (44) produce, se generan un conjunto de fases aleatorias para cada una de las frecuencias en que se ha descompuesto el pulso correspondiente al tren completo y a continuación se aplica la antitransformada de Fourier para obtener una señal que se introduce en el modelo. Esta señal es la que se emplea para

15

El proceso de generar señales aleatorias se repite y se calcula el daño (44) producido por cada una de ellas.

20

En el procedimiento se elige la señal que produce un daño (44) mayor, y que en la realización preferente de la invención, corresponde con el percentil de daño (44) del 95%, luego tenemos una probabilidad de obtener un daño (44) mayor de un 5%.

25

En el procedimiento objeto de la invención cuando el daño (44) calculado en todos los nodos, es inferior a 1, el sistema de vía en placa, con las dimensiones y valores de los parámetros que definen los distintos componentes, se da por válido.

30

Cuando el daño (44) calculado en algún nodo, excede el valor de 1, es necesario modificar algún parámetro bien dimensional, bien algún valor numérico de los componentes del sistema de vía en placa (1) objeto del procedimiento de diseño.

35

En el caso último, en el procedimiento objeto de la invención se puede bien modificar al menos un valor (24) a elegir entre la primera geometría y los parámetros que definen el carril (2), la fijación (3), la placa de hormigón (4), el cojín de mortero de cemento y asfalto (5), la solera continua de hormigón (6), o bien modificar un espesor (25) de la

placa de hormigón (4).

5 A continuación en el procedimiento objeto de la invención se vuelve a realizar el cálculo a fatiga en compresión por medio de un modelo numérico (12) previamente establecido, se compone el mapa de daño (44) del modelo numérico (17) de la placa de hormigón (4) representado el daño (44) en cada nodo en un mapa, y se da el diseño del sistema de vía en placa por correcto cuando el daño (44) en ninguno de los nodos excede de un valor de 1 (18), o si el daño (44) volviera a ser mayor que 1, se vuelve a modificar alguno de los parámetros o valores expuestos en este mismo párrafo, hasta
10 que se da el diseño del sistema de vía en placa por correcto cuando el daño (44) en ninguno de los nodos excede de un valor de 1 (18).

El procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa (1) aquí expuesto se puede emplear para diseñar un sistema de vía en placa (1) en el que la placa de hormigón (4)
15 sea prefabricada o fabricada in situ de manera indistinta, ya que requiere de datos que se conocen o se pueden conocer del diseño propuesto para su comprobación y/o modificación.

Finalmente es objeto de la invención un sistema de vía en placa (1) diseñado con el
20 procedimiento de diseño antes explicado.

La invención no debe verse limitada a la realización particular descrita en este documento. Expertos en la materia pueden desarrollar otras realizaciones a la vista de la descripción aquí realizada. En consecuencia, el alcance de la invención se define por
25 las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa (1) donde el sistema de vía en placa (1) comprende los siguientes componentes: un carril (2), una fijación (3), una
 5 placa de hormigón (4), un cojín de mortero de cemento y asfalto (5), una solera continua de hormigón (6) situada sobre un terreno (7); teniendo todos estos componentes una geometría y unos parámetros que los definen, donde se diseña al menos un componente a elegir entre la fijación (3), la placa de hormigón (4), el cojín de mortero de cemento y asfalto (5) y la solera continua de hormigón (6), **caracterizado**
 10 **por** que el procedimiento comprende las siguientes etapas:
- establecer una carga dinámica de un tren objeto de estudio a soportar por la vía en placa (8),
 - establecer una primera geometría de los componentes de la vía en placa (9),
 - realizar un análisis modal (10) del sistema de vía en placa (1),
 - 15 - realizar un análisis transitorio (11) del sistema de vía en placa (1),
 - realizar un cálculo a fatiga en compresión sobre el sistema de vía en placa (1) por medio de un modelo numérico (12) previamente establecido, que comprende los siguientes pasos:
 - modelar (13) cada componente del sistema de vía en placa (1) en el
 20 modelo numérico, introduciendo la primera geometría y unos primeros valores de los parámetros de cada componente,
 - simular la carga dinámica de un tren objeto de estudio a soportar por el sistema de vía en placa (1) mediante un pulso completo (14) correspondiente a la carga dinámica aplicada en cada instante,
 - 25 - calcular el daño (44) generado en un nodo (15) de la placa de hormigón (4),
 - repetir el cálculo del daño (44) en todos los nodos de la placa (16),
 - componer un mapa de daño del modelo numérico (17) de la placa de hormigón (4) representado el daño en cada nodo en un mapa, y
 - 30 - dar el diseño del sistema de vía en placa por correcto cuando el daño (44) en ninguno de los nodos excede de un valor de 1 (18).

2. Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa (1) según la reivindicación 1 **caracterizado por** que calcular el daño (44) generado en un nodo (15) se realiza con
 35 el siguiente procedimiento:

- extraer la historia de tensiones en la dirección de la máxima tensión principal de compresión detectada en el análisis transitorio (11) en ese nodo (19) del pulso completo (38),
- contar los ciclos de fatiga de la tensión principal de compresión (20) mediante un algoritmo conocido, en el que se agrupan los ciclos contados por niveles de tensión y se suman los ciclos con el mismo nivel de tensión,
- calcular el número de ciclos que es capaz de resistir el hormigón para cada nivel de tensión (21) mediante una formulación conocida,
- obtener el daño (44) en el nodo para cada nivel de tensión (22) dividiendo el número de ciclos de fatiga de la tensión principal de compresión contados entre el número de ciclos que es capaz de resistir el hormigón para cada nivel de tensión,
- hallar el daño (44) total en ese nodo (23) sumando el daño (44) para cada nivel de tensión.

3. Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa (1) según la reivindicación 2 caracterizado por que para calcular el número de ciclos que es capaz de resistir el hormigón para cada nivel de tensión (21) se emplea una formulación a elegir entre: Código Modelo 2010, modelo propuesto por Castillo et al, propuesta de Hsu et al y la normativa vigente en el momento del cálculo.

4. Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** que cuando el daño (44) en algún nodo de la placa supera un valor de 1, comprende los pasos adicionales de:

- modificar al menos un valor (24) a elegir entre la primera geometría y los parámetros que definen el carril (2), la fijación (3), la placa de hormigón (4), el cojín de mortero de cemento y asfalto (5), la solera continua de hormigón (6),
- volver a realizar el cálculo a fatiga en compresión por medio de un modelo numérico (12) previamente establecido,
- componer un mapa de daño (44) del modelo numérico (17) de la placa de hormigón (4) representado el daño (44) en cada nodo en un mapa, y
- dar el diseño del sistema de vía en placa por correcto cuando el daño (44) en ninguno de los nodos excede de un valor de 1 (18).

35

5. Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa (1) según la reivindicación 4, **caracterizado por que** en la etapa de modificar al menos un valor (24) a elegir entre la geometría y los parámetros que definen la fijación (3), la placa de hormigón (4), el cojín de mortero de cemento y asfalto (5) y la solera continua de hormigón (6), se modifica
5 en primer lugar un espesor (25) de la placa de hormigón (4).

6. Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa (1) según cualquiera de las reivindicaciones 4 ó 5, **caracterizado por que** en la etapa de modificar al menos un valor (24) a elegir entre la geometría y los parámetros que definen la fijación (3), la
10 placa de hormigón (4), el cojín de mortero de cemento y asfalto (5) y la solera continua de hormigón (6), se modifica al menos un valor a elegir entre una resistencia a compresión, un módulo elástico y un coeficiente de Poisson de los parámetros que definen la placa hormigón (4).

7. Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** que la carga dinámica a soportar por el sistema de vía en placa procedente de un tren objetivo representada mediante un pulso completo (14), se simula a partir de un pulso correspondiente a un bogie conocido (26) de un tren cualquiera, y comprende los siguientes pasos:

- 20 - realizar un escalado temporal del pulso del bogie conocido (27), mediante un cambio de una base de tiempos del tren conocido a una base de tiempos del tren objetivo, obteniendo un pulso temporalmente escalado,
- componer un pulso de un tren temporalmente escalado correspondiente al tren objetivo (28), repitiendo el pulso temporalmente escalado para los bogies de
25 coches y de locomotoras del tren objetivo,
- realizar un escalado en amplitud del pulso de un tren temporalmente escalado correspondiente al tren objetivo (29), multiplicando el pulso de un tren temporalmente escalado correspondiente al tren objetivo por un factor,
- obtener un pulso completo (38) correspondiente al tren completo (30), para
30 adecuar el pulso completo (38) al peso total del tren completo,
- aplicar la transformada de Fourier (33) descomponiendo el pulso real en armónicos,
- hallar espectro medio de las señales (34),
- aplicar anti-transformada de Fourier (35).

35

8. Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por** que la carga dinámica a soportar por el sistema de vía en placa procedente de un tren objetivo representada mediante un pulso completo (14) se obtiene a partir de unos datos reales, y comprende los siguientes pasos:

- 5 - recoger datos de registros de trenes reales (31), representados como pulsos reales,
para cada pulso real,
- 10 - realizar un escalado temporal del pulso real (32), mediante un cambio de una base de tiempos del tren conocido a una base de tiempos del tren objetivo,
- realizar un escalado en amplitud (28), multiplicando el pulso temporalmente escalado por un factor obteniendo un pulso completo (38) correspondiente al tren objetivo,
- 15 - aplicar la transformada de Fourier (33) descomponiendo el pulso real en armónicos,
- hallar espectro medio de las señales (34),
- aplicar anti-transformada de Fourier (35).

9. Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** que realizar el análisis modal (10) comprende calcular los modos propios de vibración y frecuencias naturales asociadas a cada modo propio de vibración.

10. Procedimiento de diseño de un sistema de vía en placa (1) según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** que la etapa de hallar el daño (44) acumulado (23) para cada nodo se realiza mediante la ley de Palmgren-Miner que suma el daño (44) obtenido en los ciclos para cada nivel de tensión.

11. Sistema de vía en placa **caracterizado por** que se ha diseñado por el procedimiento divulgado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

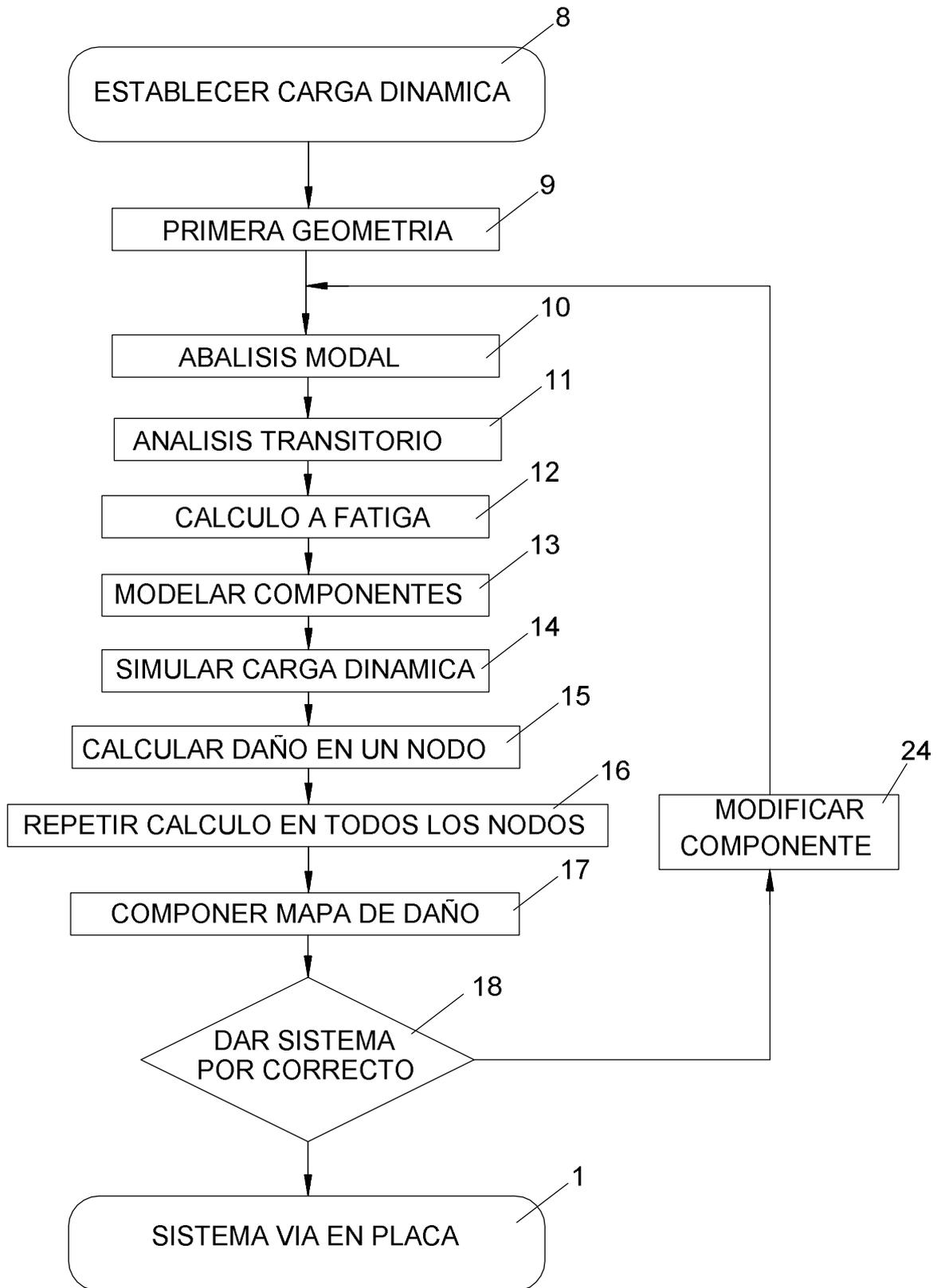


FIG. 1

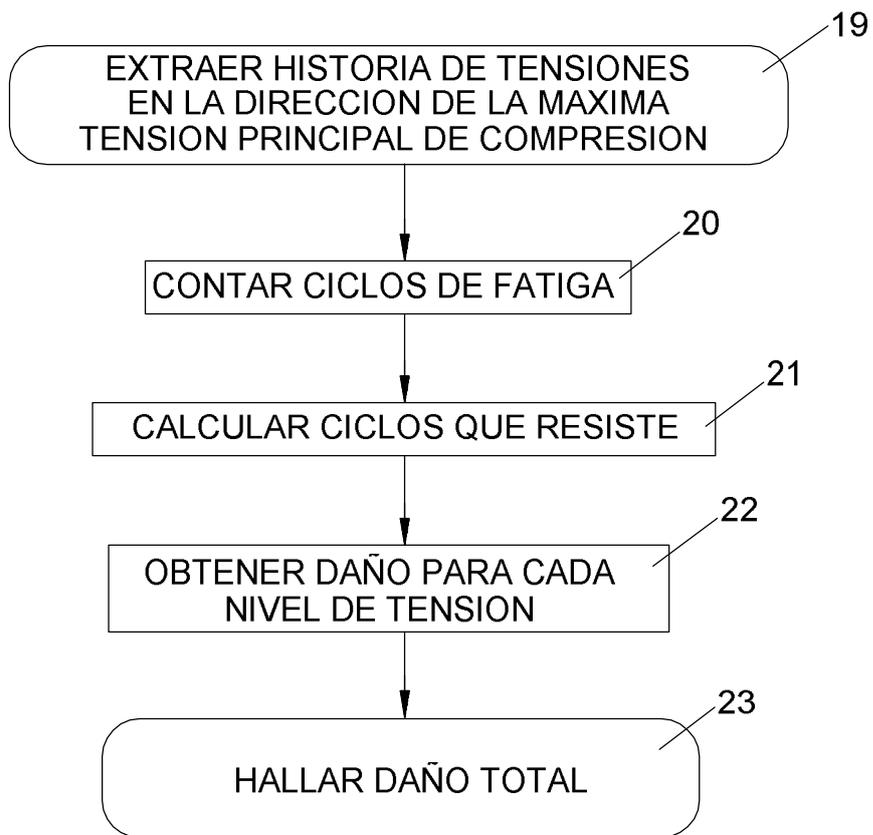


FIG. 2

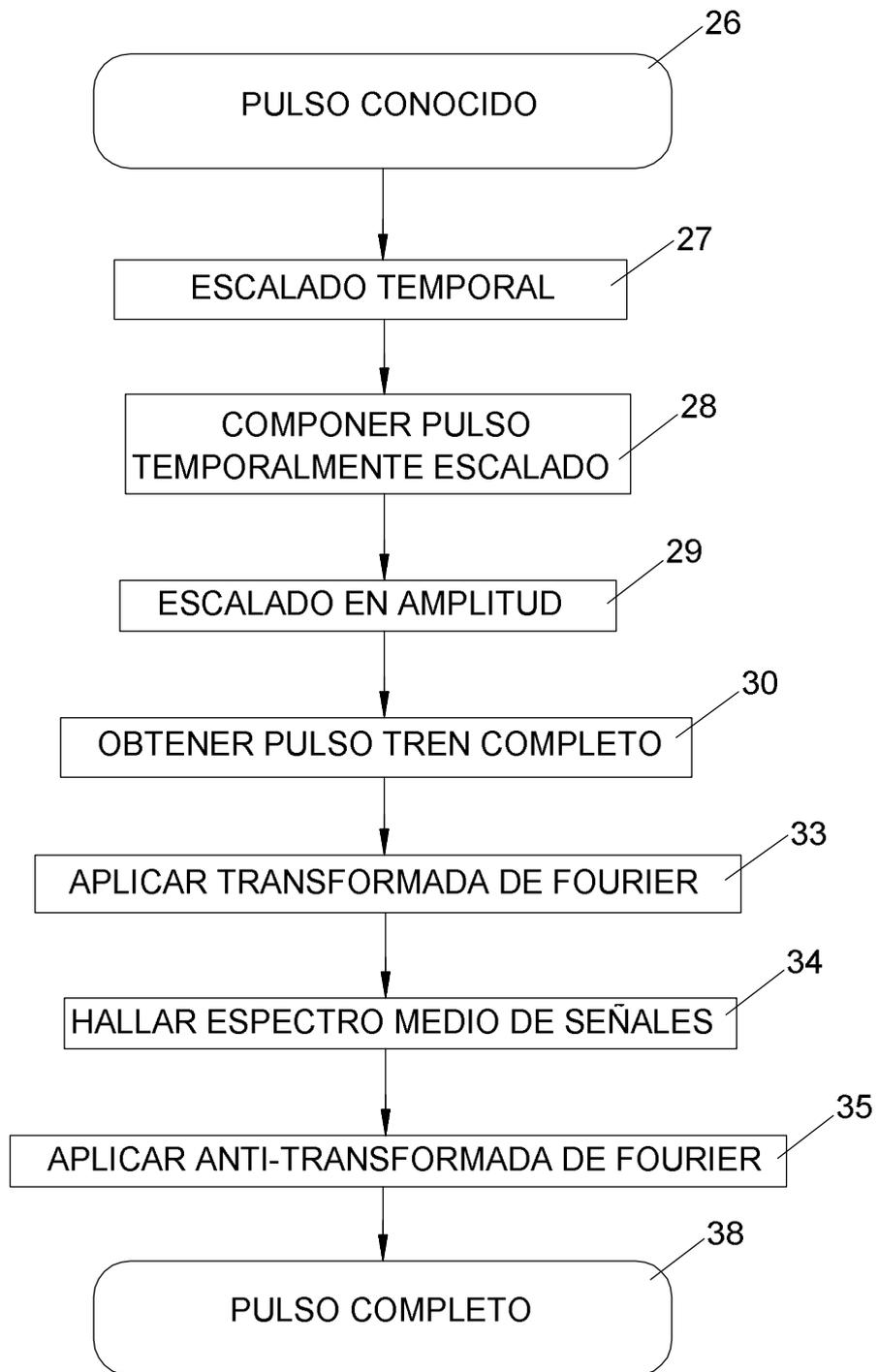


FIG. 3

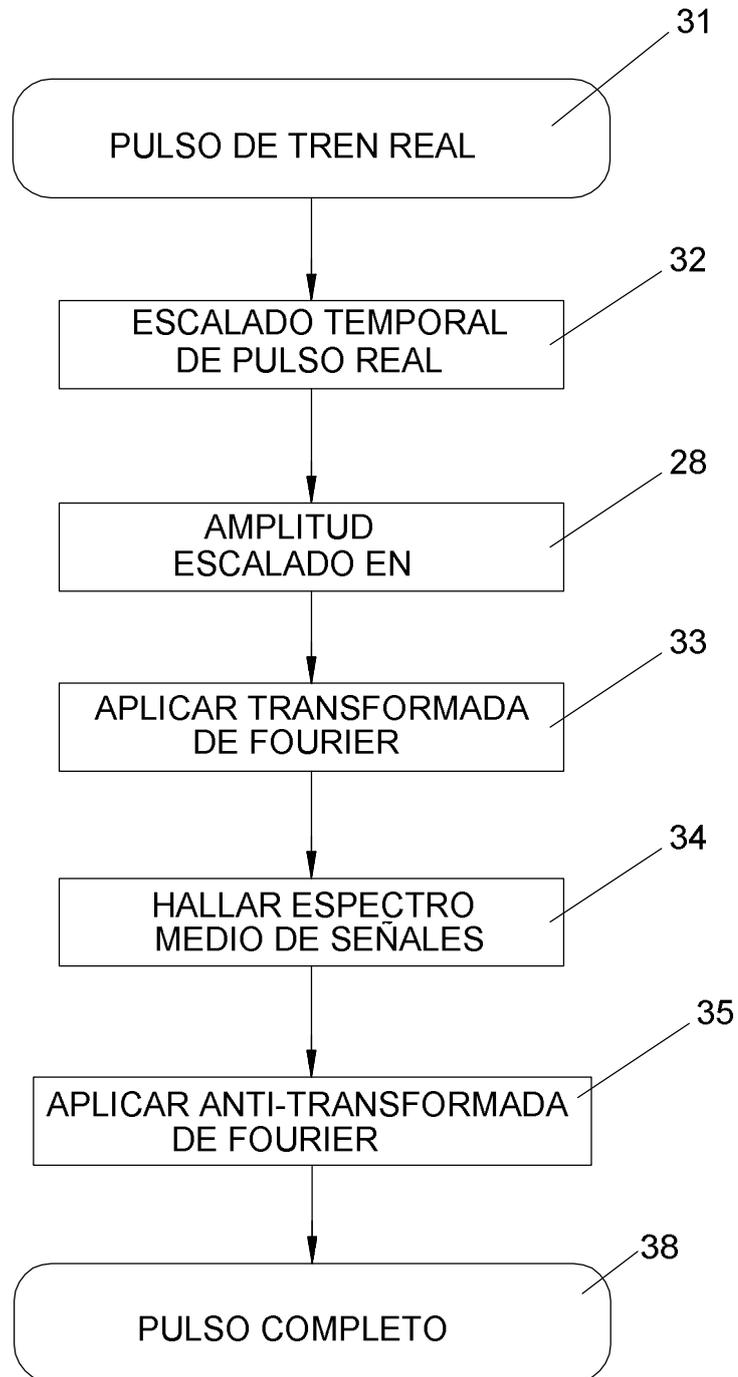


FIG. 4

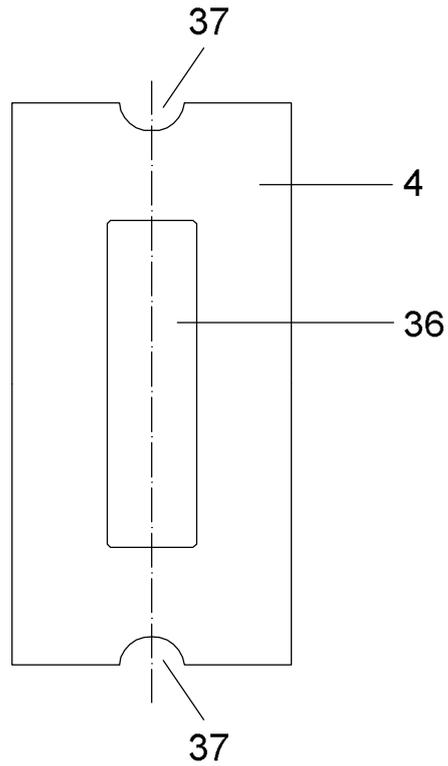


FIG. 5

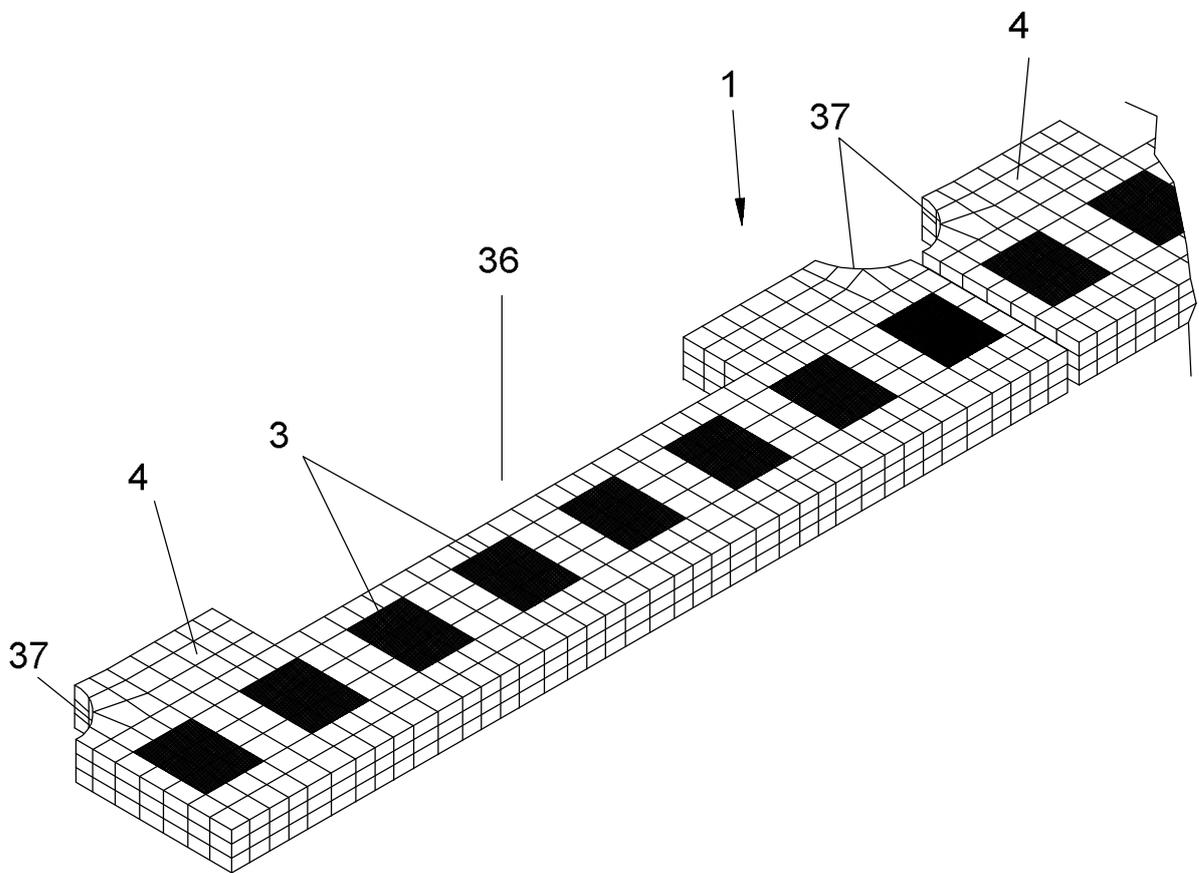


FIG. 6

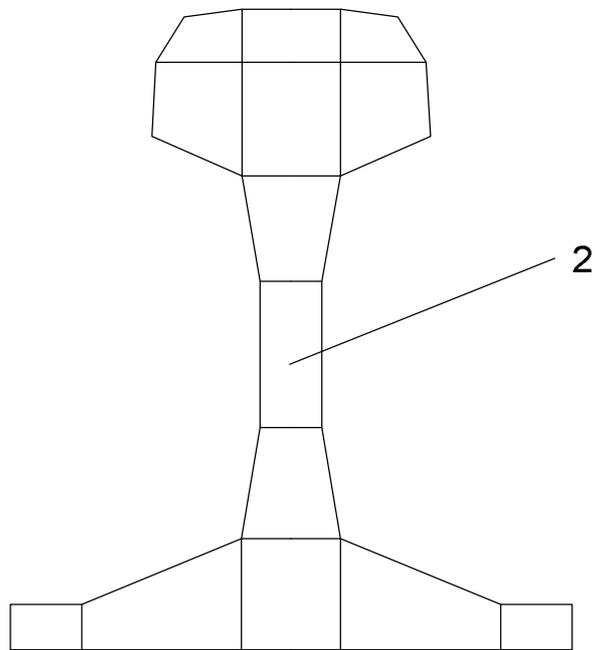


FIG. 7

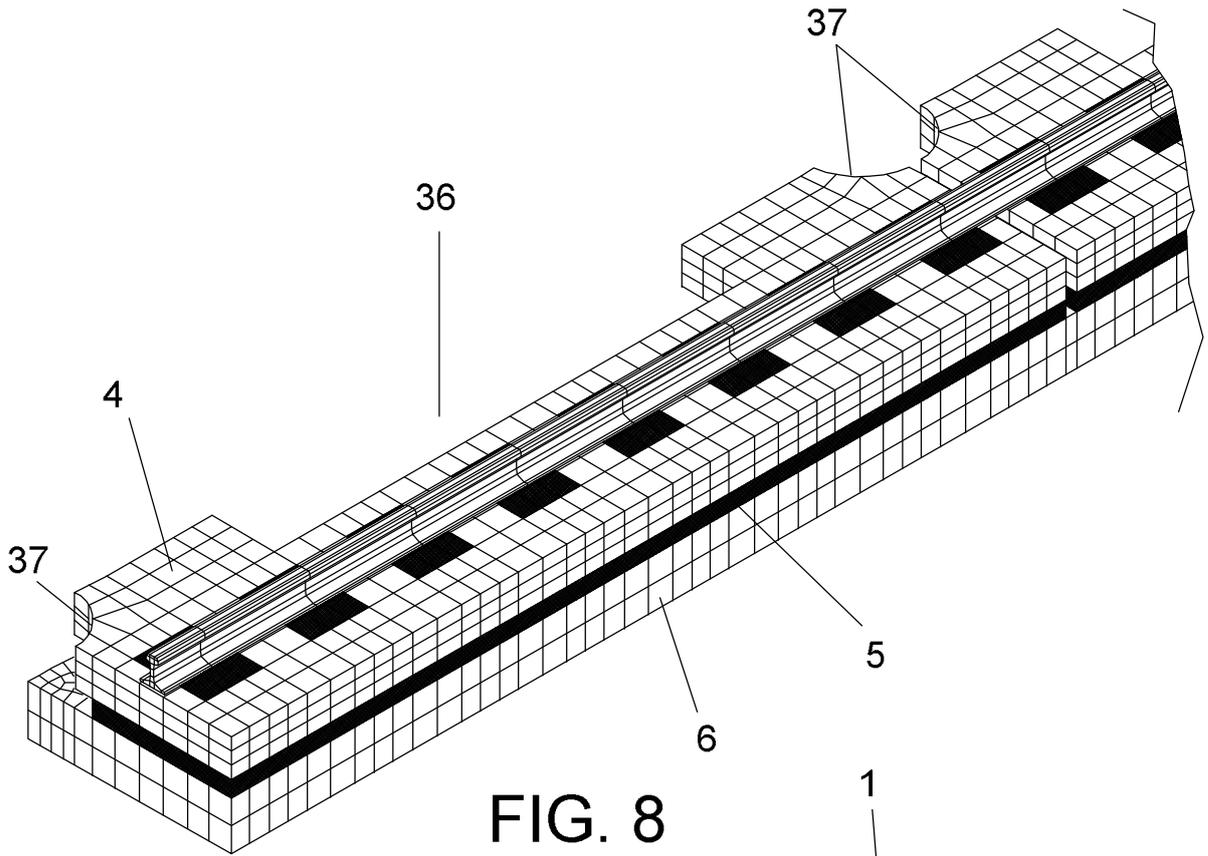


FIG. 8

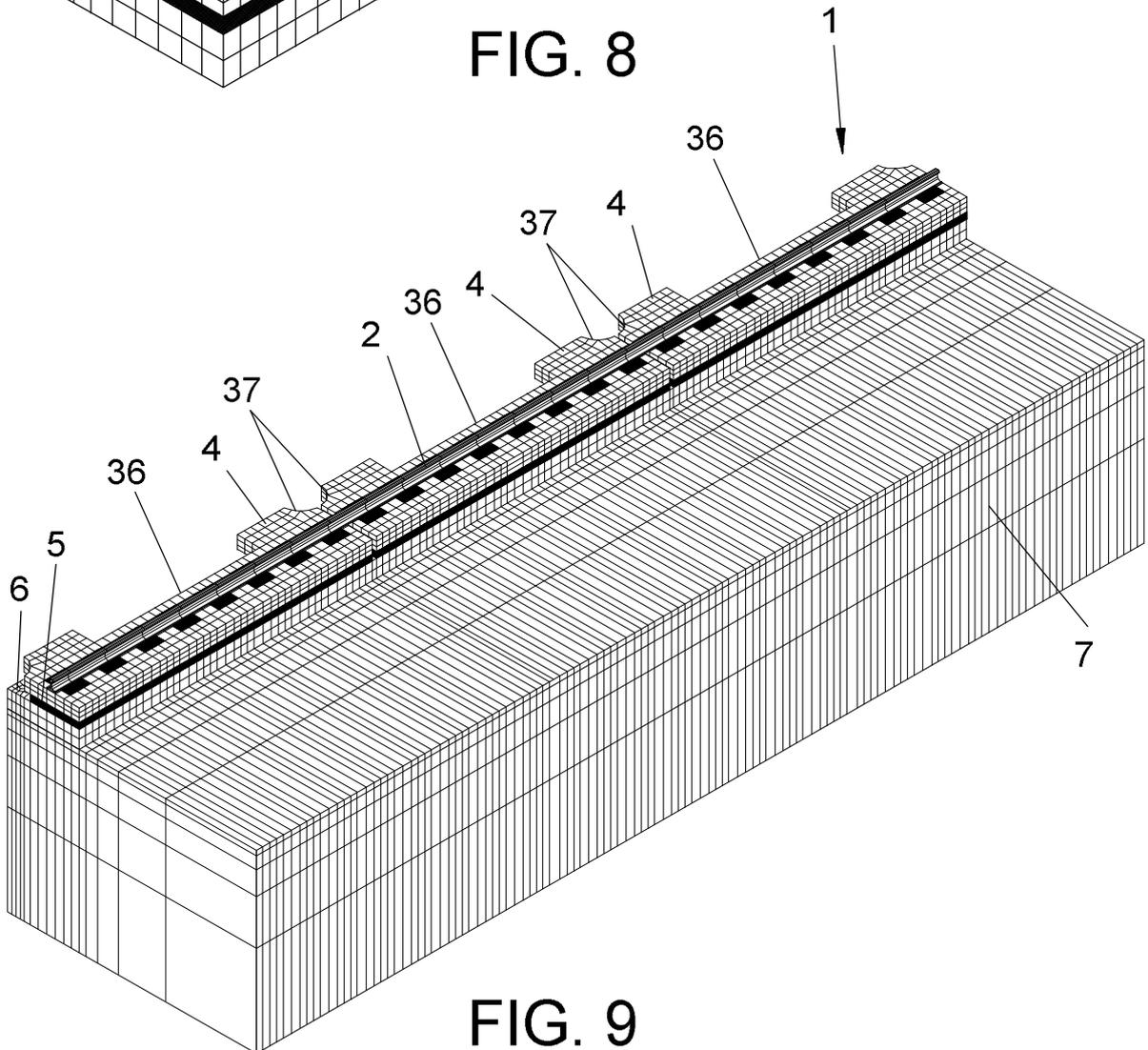


FIG. 9

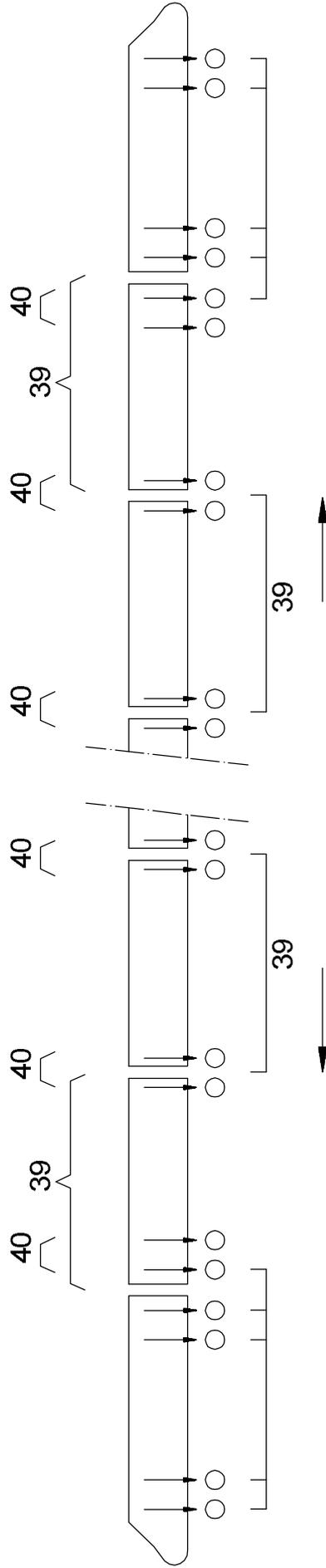


FIG. 10

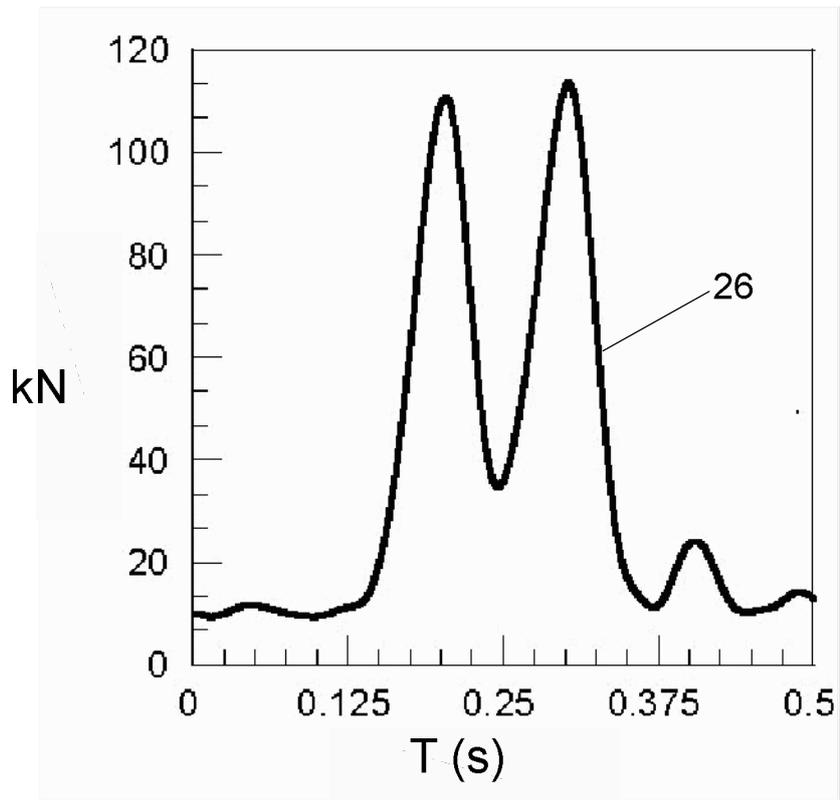


FIG. 11

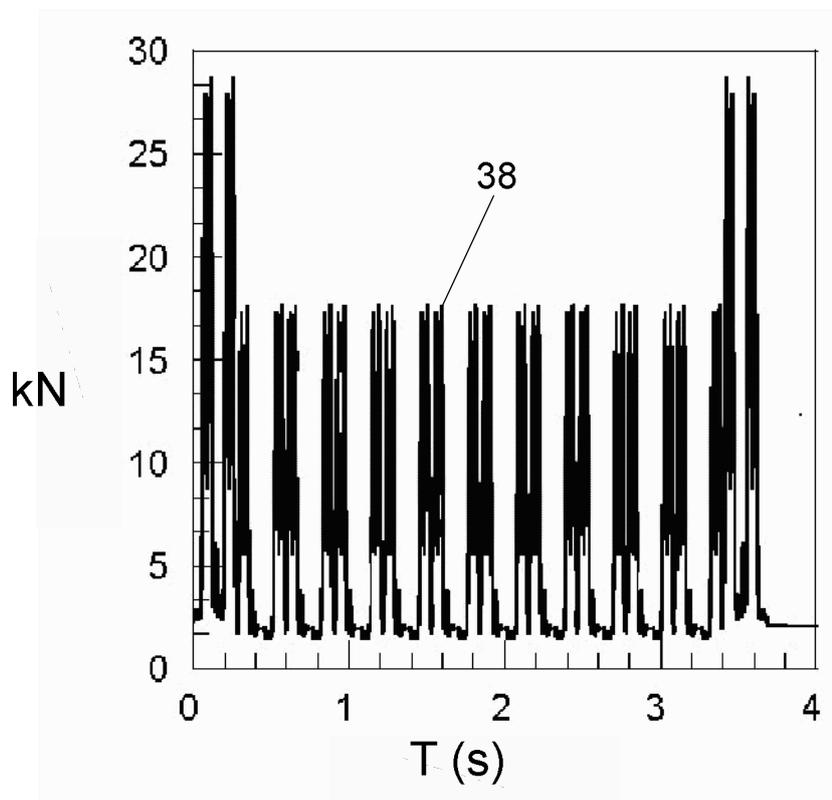


FIG. 12

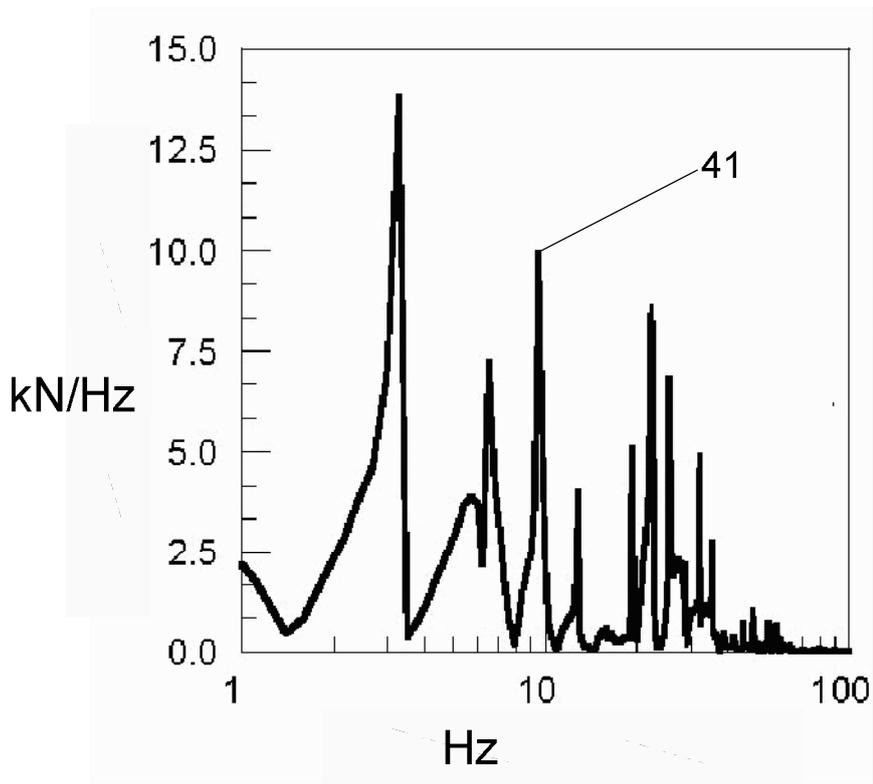


FIG. 13

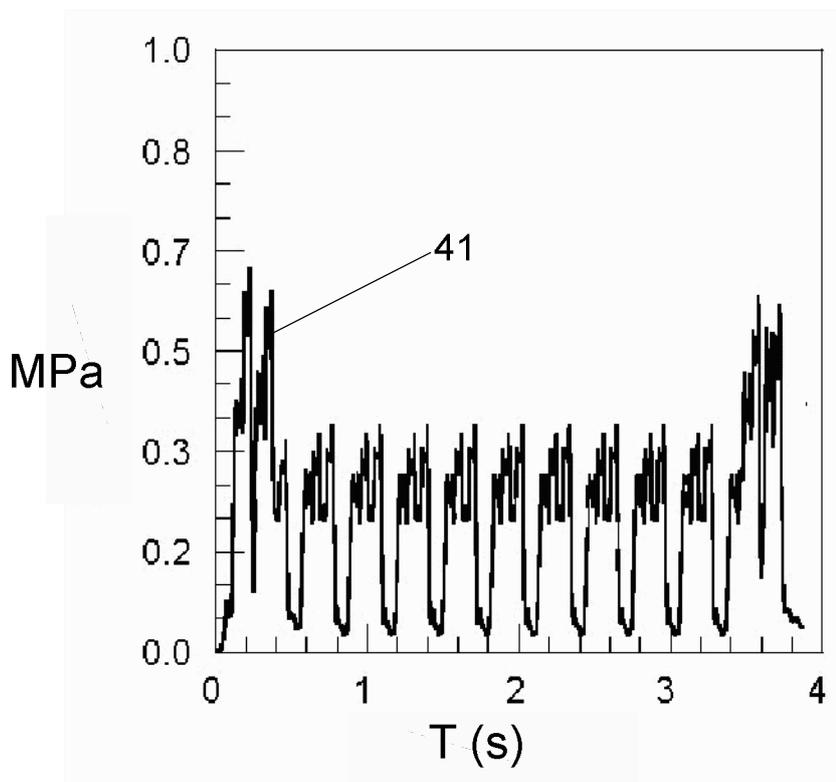


FIG. 14

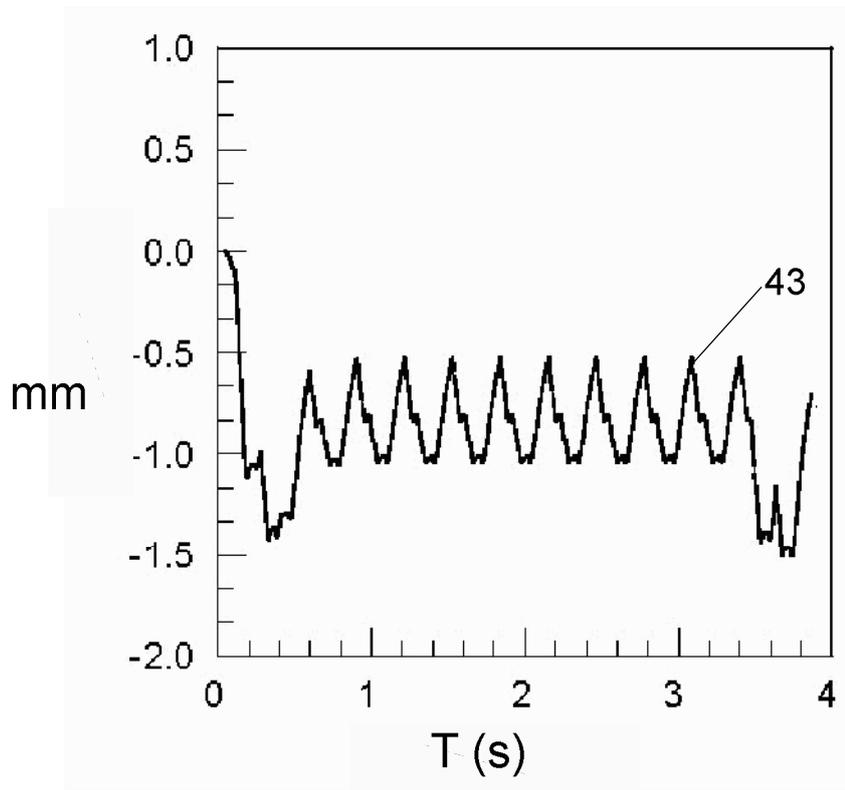


FIG. 15

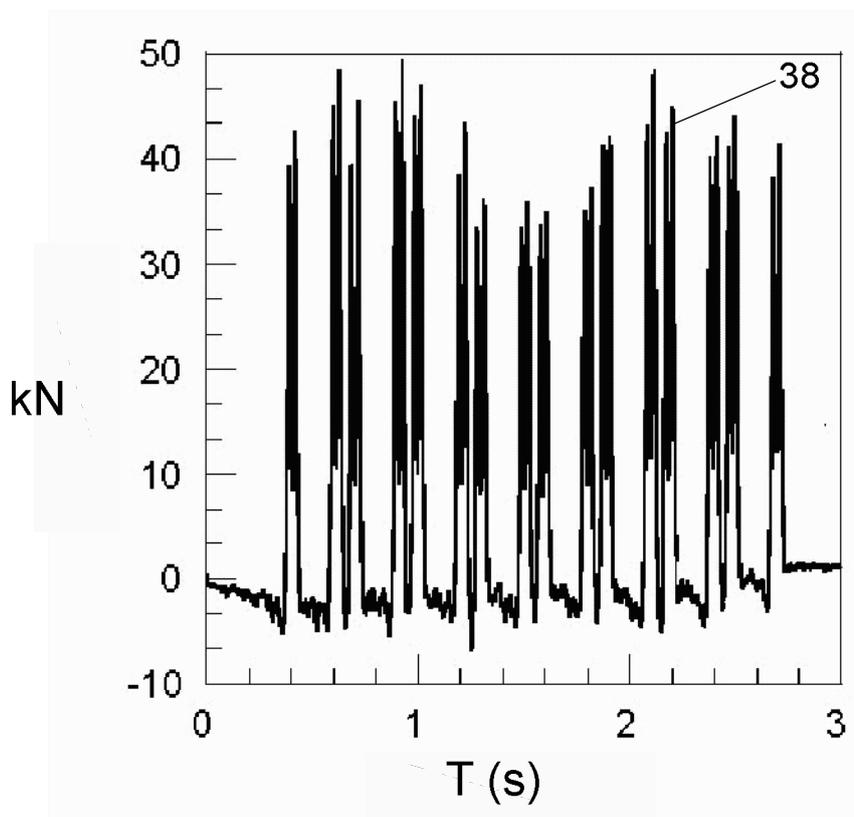


FIG. 16

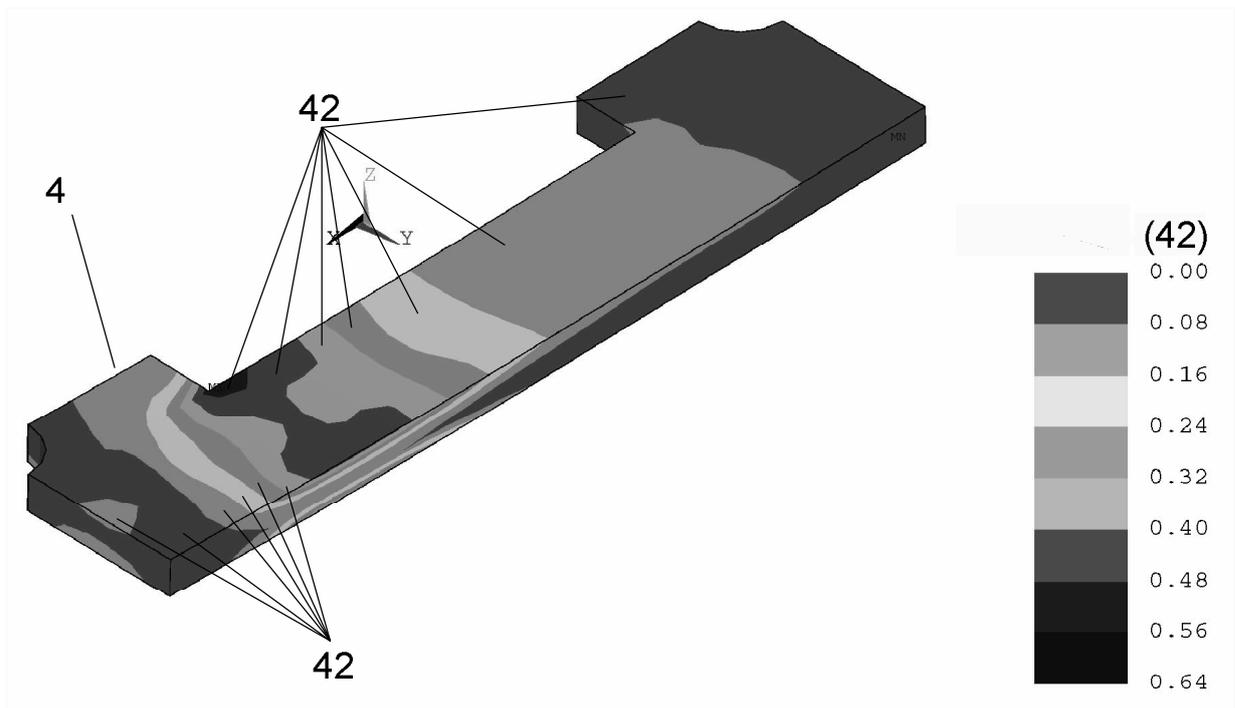


FIG. 17

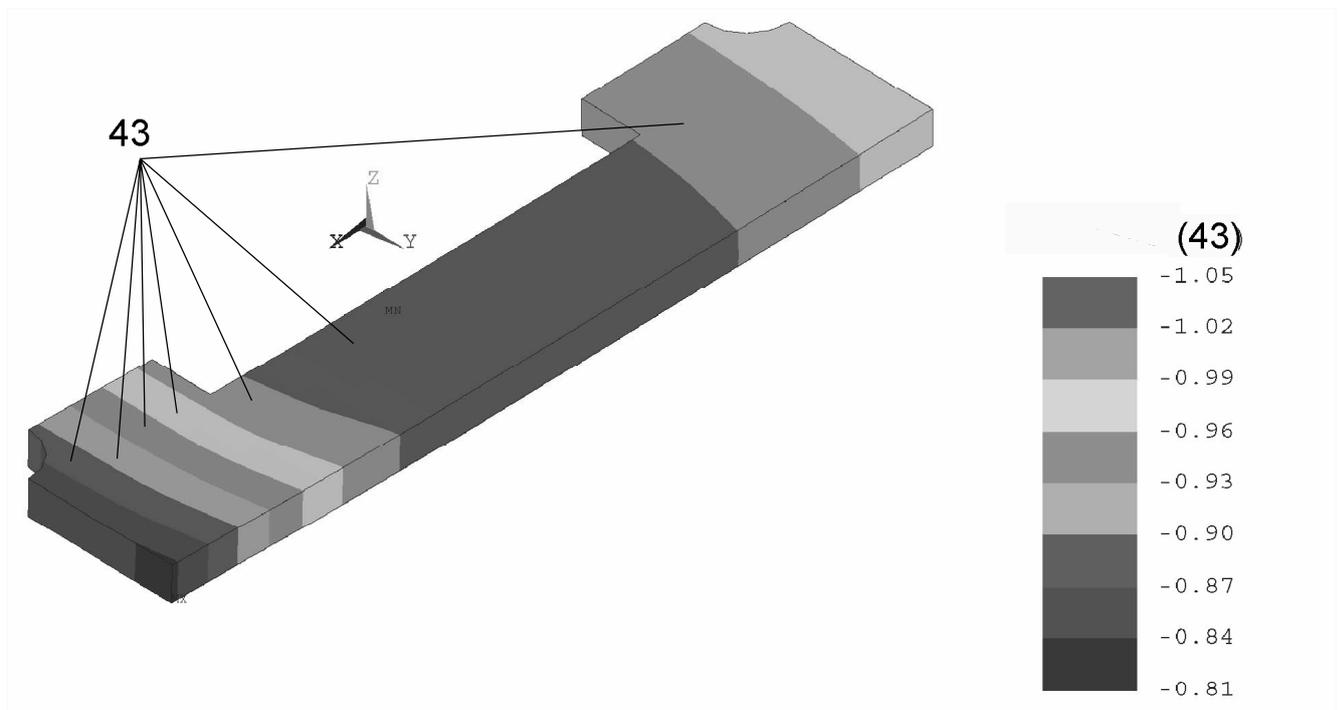


FIG. 18

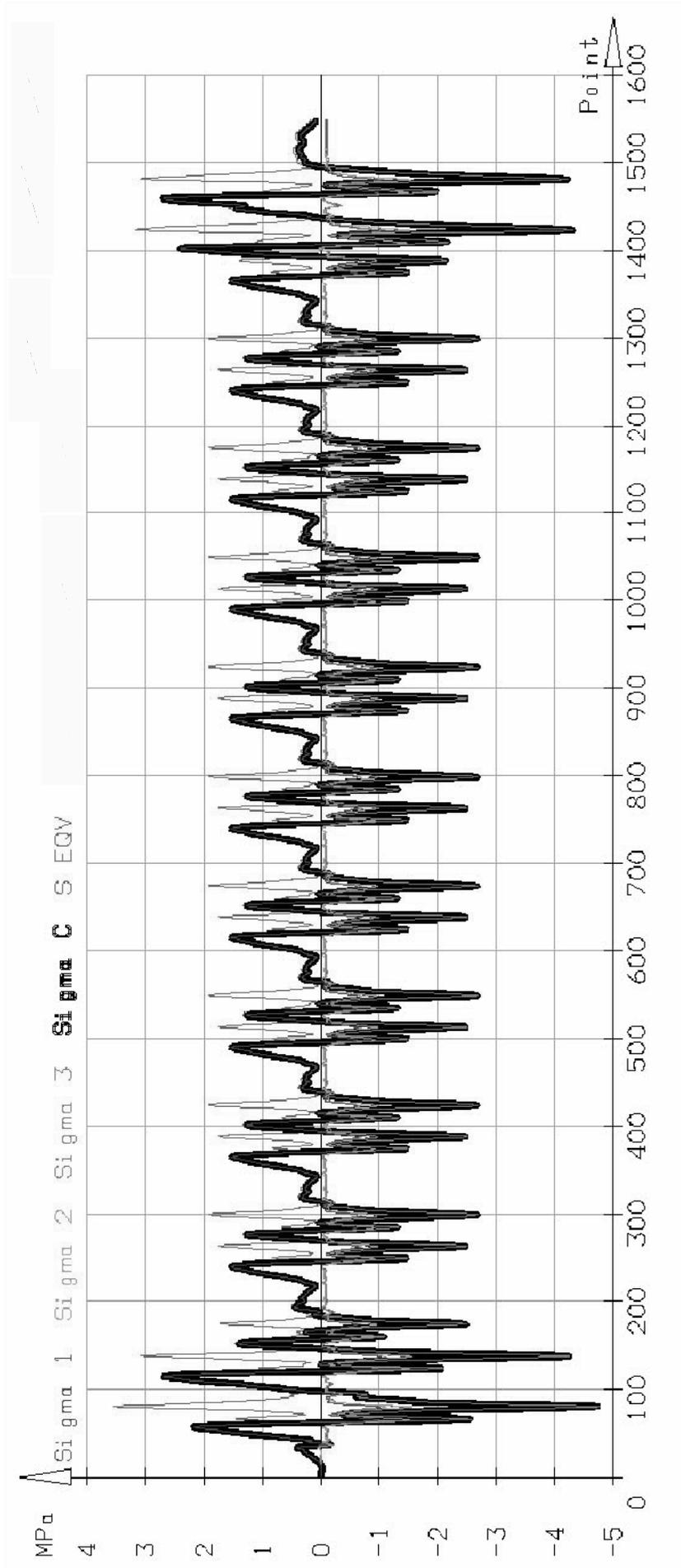


FIG. 19

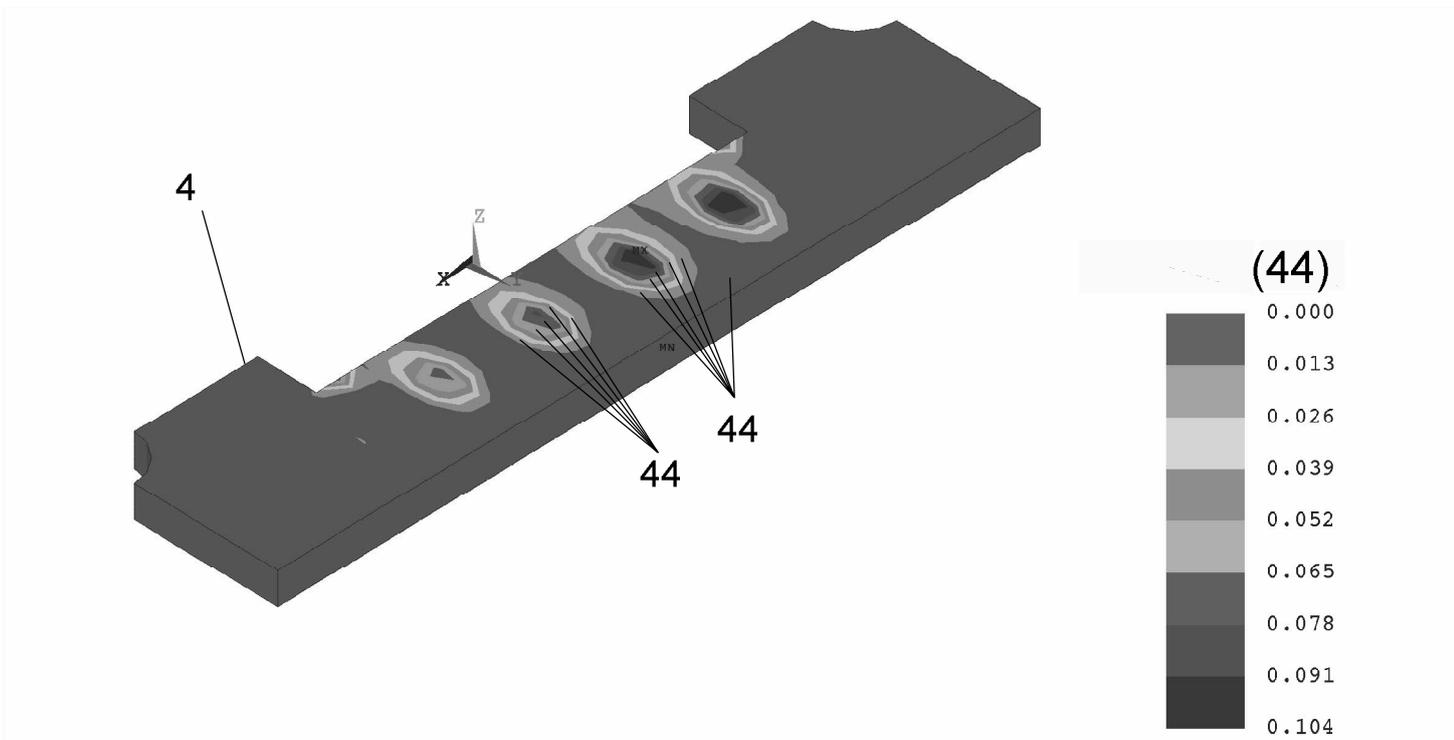


FIG. 20