

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 608 605**

51 Int. Cl.:

B60C 23/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.07.2003 PCT/EP2003/007283**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.01.2005 WO05005173**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2003 E 03817396 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.09.2016 EP 1641639**

54 Título: **Estimación de presión de neumático**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.04.2017

73 Titular/es:

**NIRA DYNAMICS AB (100.0%)
Mjärdevi Science Park, Teknikringen 1F
583 30 Linköping, SE**

72 Inventor/es:

**HALL, PETER;
GUSTAVSSON, TONY;
GUSTAVSSON, FREDRIK;
LINDSKOG, PETER y
FORSSELL, URBAN**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 608 605 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

Estimación de presión de neumático

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere en general a un procedimiento de, a un sistema para y a un producto de programa informático para estimar la aparición de una desviación de presión de neumático específica entre valores de presión real y nominal para una o una pluralidad de ruedas.

Antecedentes de la invención

- 10 La seguridad en la conducción y la economía en la conducción tienen un importante papel en el diseño de automóviles. Los sistemas de monitorización de presión de neumático, que contribuyen a la conducción segura y la eficacia de combustible mejorada, se integran cada vez más en equipos de automóviles. Dos técnicas diferentes, concretamente mediciones de presión de neumático directas e indirectas, se distinguen en la técnica anterior. Las mediciones directas, que son muy precisas, requieren equipos comparativamente caros integrados dentro del neumático. Los sistemas de medición indirecta, que pueden basarse en sistemas antibloqueo (ABS), se implementan fácilmente y son económicos pero son, hasta el momento, menos precisas que las técnicas de medición directa.

Las técnicas de medición indirecta comprenden análisis de radio de rueda (WRA) y análisis de vibración de rueda (WVA).

- 20 En el análisis de radio de rueda, los radios de rueda se estiman comparando las velocidades de rueda de cada rueda del vehículo (que pueden medirse mediante sensores de velocidad de rueda del ABS) con la velocidad de conducción real del vehículo. Siempre que haya velocidad de conducción constante, la velocidad de rueda aumenta cuando el radio de rueda disminuye debido a pérdida de presión de neumático.

- 25 En el análisis de vibración de rueda, se detectan fenómenos de vibración de rueda (que pueden medirse mediante sensores de velocidad de rueda del ABS) dentro del comportamiento dependiente del tiempo de la velocidad de rotación de una rueda de vehículo individual. Los neumáticos en contacto con la superficie de la carretera durante la conducción están expuestos a vibraciones. En este caso, se utiliza el hecho de que las propiedades espectrales (por ejemplo la distribución de energía en diferentes bandas de frecuencia) de una señal de velocidad angular de rueda depende de la presión de neumático de la rueda de vehículo individual.

- 30 Los sistemas de estimación de presión de neumático tradicionales dependen o bien del análisis de radio de rueda o bien del análisis de vibración de rueda. Ambos sistemas tienen ventajas y deficiencias particulares. La estimación de presiones de neumático con el análisis de radio de rueda se implementa fácilmente pero se ve afectada por cambios en la carga del vehículo o fuerzas de conducción durante los giros, la aceleración y el frenado, que también llevan a cambios en el radio de rueda. El análisis de vibración de rueda, que requiere un rendimiento informático aumentado, es muy preciso en un intervalo de velocidad baja y media, pero muestra deficiencias en un intervalo de velocidad alta de la velocidad de conducción.

- 35 El documento JP 5-133831 da a conocer un WVA que identifica una resonancia de baja frecuencia pronunciada que puede medirse cuando la velocidad del vehículo es baja. Normalmente, la frecuencia de resonancia correspondiente está en el intervalo de aproximadamente 30 a 50 Hz. Cuando la velocidad del vehículo aumenta a un intervalo de velocidad alta, el pico de resonancia baja pierde intensidad. En este intervalo de velocidad, los documentos JP 7-21723 y EP 0925960 identifican además una resonancia de alta frecuencia que es adecuada para la estimación de presión de neumático. La frecuencia de esta resonancia está en el intervalo de aproximadamente 60 a 90 Hz. Sin embargo, para velocidades de vehículo demasiado altas, se hace cada vez más difícil usar análisis vibracional para la estimación de presión de neumático. Las figuras 12A y B muestran dos espectros de potencia de las velocidades de rotación que corresponden a una velocidad del vehículo baja y alta, respectivamente. Los picos de resonancia baja (figura 12a) y alta (figura 12b) pueden identificarse fácilmente.

- 40 El pico de resonancia baja se atribuye generalmente a una resonancia de torsión en el sentido de rotación de un neumático. Cuando la presión de aire de neumático cae, la constante de muelle disminuye en el sentido de torsión. El pico de resonancia alta se atribuye o bien a componentes secundarios de la frecuencia de resonancia de torsión o bien a efectos del dibujo de la banda de rodamiento. La figura 13 muestra una relación típica de la presión de neumático como una función de la frecuencia de resonancia (pico de resonancia alta).

- 45 Los documentos EP 0 925 960 y WO 01/87647 dan a conocer sistemas de estimación de presión de aire de neumático que implementan ambas técnicas de análisis, WVA y WRA, para compensar las deficiencias individuales de estas técnicas de análisis diferentes. Por tanto, el sistema descrito en el documento EP 0 925 960 cambia entre las dos técnicas de análisis dependiendo de los parámetros y las condiciones de conducción actuales (velocidad del vehículo, intensidad de señal de resonancia, intensidad de entrada de vibración, señal de interruptor de freno, etc.). Cuando el vehículo está en un intervalo de velocidad baja o media, en el que el WVA es eficaz, la estimación de la

5 presión de aire de neumático se basa en la salida del WVA. En el intervalo de velocidad alta, en el que el WVA es menos eficaz, depende de la salida del WRA. El sistema de estimación de presión de neumático dado a conocer en el documento WO 01/87647 deriva para cada rueda de vehículo dos valores de nivel de confianza individuales correspondientes a las salidas de las dos técnicas de análisis, WVA y WRA, respectivamente. Si las salidas del WVA y del WRA se corresponden entre sí, entonces la suma de los dos valores de confianza individuales correspondientes se compara con un primer valor umbral. De otro modo, el valor superior entre los dos valores de nivel de confianza individuales se elige y se compara con un valor umbral correspondiente (un valor umbral para el WVA y el WRA, respectivamente). Una señal de indicación de presión de neumático que indica una pérdida de presión de neumático se genera cuando se cumple una de las tres condiciones umbral.

10 **Objeto de la invención**

El objeto de la invención es mejorar la confianza de la estimación de la aparición de una desviación de presión de neumático específica para una rueda.

Sumario de la invención

Según un primer aspecto, la invención logra este objeto mediante procedimientos según las reivindicaciones 1 y 14.

15 Según un segundo aspecto, la invención logra este objeto mediante un sistema según la reivindicación 15.

Según un tercer aspecto, la invención logra este objeto mediante un producto de programa informático según la reivindicación 15.

20 Otras características inherentes en el procedimiento y sistema de estimación de presión de neumático y el producto de programa informático correspondiente se dan a conocer o se harán evidentes a los expertos en la técnica a partir de la siguiente descripción detallada de realizaciones y sus dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos,

la figura 1 muestra un diagrama esquemático de una primera realización de la invención;

25 las figuras 2A, B muestran dos gráficas de contorno del valor de indicación de presión η_i para dos conjuntos diferentes de parámetros de ajuste;

la figura 3 muestra un diagrama de flujo de las etapas de procedimiento de una implementación de la primera realización;

la figura 4 muestra un diagrama de flujo de las etapas de procedimiento de una transformación de radio de neumático preferida que se realiza en la primera realización;

30 la figura 5 muestra un diagrama esquemático de una segunda realización de la invención;

la figura 6 muestra un diagrama de flujo de las etapas de procedimiento de una implementación de la segunda realización;

la figura 7 muestra un diagrama esquemático de una tercera realización de la invención;

35 la figura 8 muestra un diagrama de flujo de las etapas de procedimiento de una implementación de la tercera realización;

la figura 9 muestra un diagrama esquemático de una cuarta realización de la invención;

la figura 10 muestra un diagrama esquemático de una compensación de equilibrio de carga usada en la cuarta realización;

40 la figura 11 muestra un diagrama de flujo de las etapas de procedimiento de una implementación de la cuarta realización;

las figuras 12A, B muestran dos espectros de potencia de las velocidades de rotación que corresponden a una velocidad de vehículo baja y alta, respectivamente, según la técnica anterior;

la figura 13 muestra una relación típica de la presión de neumático como una función de la frecuencia de resonancia según la técnica anterior; y

45 la figura 14 muestra cuatro gráficas diferentes, una para cada uno de los cuatro neumáticos, en las que $(\Delta f_i, \Delta r_i)$ pares de parámetros obtenidos para cada neumático individual i se dibujan durante una prueba de conducción en condiciones de neumático individual normales.

Descripción detallada de las realizaciones

A continuación, se explican en más detalle sensores de velocidad de rotación tal como se usan para medir velocidades de rotación de ruedas de vehículo, un componente de análisis de radio de rueda (WRA) y un componente de análisis de vibración de rueda (WVA), que son partes comunes de las diversas realizaciones de la invención.

[Sensor de velocidad de rotación]

Los sensores de velocidad de rotación se usan a menudo para medir el movimiento angular de un eje rotativo. Los ejes de rueda en vehículos, el árbol de levas en motores y los ejes de motor en robots son algunos ejemplos para la aplicación de estos sensores. Un sensor tal puede comprender un transductor (por ejemplo un transductor inductivo u óptico, un sensor Hall, etc.) que actúa conjuntamente con los dientes de una rueda dentada.

Cada vez que un diente pasa el transductor, el último genera una señal de activación. La velocidad de rotación se determina midiendo el tiempo transcurrido entre dos señales de activación adyacentes. Entre dos señales de activación adyacentes, la rueda dentada rota aproximadamente el ángulo $\alpha = 2\pi/N$, en el que N es el número de dientes de la rueda. Las señales de activación pueden enviarse a una unidad de microprocesador en la que se convierten en valores de velocidad angular. A menudo, los sensores de velocidad de rotación integrados en el sistema antibloqueo (ABS) de un vehículo se usan para proporcionar estos valores de velocidad angular.

Puede encontrarse una descripción más detallada de sensores de velocidad de rotación y su aplicación en el contexto de sistemas de estimación de presión de neumático en el documento EP 0925960.

Para cada una de las ruedas de vehículo, se proporciona una entrada permanente de valores de velocidad angular correspondientes a un componente de análisis de radio de rueda y al componente de análisis de vibración de rueda. Los valores de datos de entrada pueden proporcionarse como conjuntos de datos muestreados en el dominio de tiempo (separados de manera equidistante en el tiempo) o como conjuntos de datos muestreados en el dominio de acontecimiento (separados de manera no equidistante en el tiempo).

[Componente de análisis de radio de rueda (WRA)]

Un WRA se basa en el hecho de que la velocidad de rueda de una rueda depende del radio de rueda respectivo. Cuánto más pequeño es el radio de rueda, más grande es la velocidad de rueda correspondiente. En particular, un componente de WRA puede proporcionar diferencias de velocidades de rueda a partir de pares de ruedas de vehículo. Las velocidades de rueda de cada rueda se miden por tanto mediante los sensores de velocidad de rotación de cada rueda. En general, el componente de WRA emite un número de valores de medición de WRA ΔR de los que cada uno se refieren a uno, dos, tres o los cuatro valores de radio de neumático individuales Δr_i que indican los cambios en el radio de rueda de una rueda particular i.

Según una realización preferida, el componente de WRA proporciona un vector en cuatro dimensiones

$$\Delta R = [\Delta_{YF}, \Delta_{XL}, \Delta_{XR}, \Delta_{YR}]^T \tag{1a}$$

En el que $\Delta_{YF}, \Delta_{XL}, \Delta_{XR}$ y Δ_{YR} son las diferencias en los radios de rueda de las ruedas delantera izquierda y delantera derecha, delantera izquierda y trasera izquierda, delantera derecha y trasera derecha, trasera izquierda y trasera derecha, respectivamente. El vector ΔR se refiere a los valores de radio de neumático individuales Δr_i , a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta R = \frac{1}{r_0} \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta r_1 \\ \Delta r_2 \\ \Delta r_3 \\ \Delta r_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{r_0} H \Delta r \tag{2a}$$

En la que r_0 es un radio de rueda nominal conocido y cada uno de los índices 1, 2, 3, 4 de Δr_i corresponde a una rueda de vehículo respectiva: 1 = delantera izquierda (FL), 2 = delantera derecha (FR), 3 = trasera izquierda (RL), 4 = trasera derecha (RR).

Debe observarse que los parámetros $\Delta_{XL}, \Delta_{XR}, \Delta_{YF}$ y Δ_{YR} dependen de hecho de las presiones de neumático de las ruedas correspondientes, pero Δ_{XL} y Δ_{XR} también pueden reflejar cambios de carga de vehículo o cambios de superficie y de manera similar, Δ_{YF} y Δ_{YR} pueden reaccionar en fuerzas de conducción (aceleración, frenado, fuerzas en curvas, etc.).

Si el vehículo no incluye ningún giroscopio que emite velocidades de guiñada del vehículo de conducción, un

componente de WRA alternativo puede proporcionar un vector tridimensional

$$\Delta R = [\Delta_{XL}, \Delta_{YF} - \Delta_{YR}, \Delta_{XR}]^T \quad (1b)$$

En este caso, la matriz H de la ecuación (2a) puede adoptarse de la siguiente manera:

$$H = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2b)$$

- 5 En términos generales, el componente de WRA puede considerar cualquier función arbitraria de los valores de radio de rueda. Por ejemplo, el componente de WRA aplica la relación

$$R = f(r_1, r_2, r_3, r_4) \quad (1c)$$

- 10 En la que f es una función en una, dos, tres o cuatro dimensiones que relaciona los valores de radio de rueda a una cantidad observable (de valor vectorial) R. Mediante la aplicación de una aproximación de serie de Taylor de primer orden, la expresión $R=f(r_1, r_2, r_3, r_4)$ puede escribirse para desviaciones de radio de rueda pequeñas como

$$R \approx f(r_0, r_0, r_0, r_0) + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial r_1} & \frac{\partial f}{\partial r_2} & \frac{\partial f}{\partial r_3} & \frac{\partial f}{\partial r_4} \end{bmatrix}}_{\Delta R} \begin{bmatrix} \Delta r_1 \\ \Delta r_2 \\ \Delta r_3 \\ \Delta r_4 \end{bmatrix} \quad (1d)$$

La matriz de gradiente

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial r_1} & \frac{\partial f}{\partial r_2} & \frac{\partial f}{\partial r_3} & \frac{\partial f}{\partial r_4} \end{bmatrix} \quad (2d)$$

Debe evaluarse usando el valor nominal r_0 para el radio de rueda. Considérese por ejemplo la siguiente cantidad:

$$R = \frac{r_1}{r_4} - \frac{r_2}{r_3} \quad (1e)$$

15

La aplicación de la ecuación (1d) muestra entonces que

$$\Delta R = \frac{1}{r_0} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta r_1 \\ \Delta r_2 \\ \Delta r_3 \\ \Delta r_4 \end{bmatrix} \quad (1f)$$

- 20 Las salidas de un componente de WRA no se limitan a los ejemplos de salidas de las ecuaciones (1a-f). Para cada componente de WRA específico, el enfoque de la serie de Taylor (ecuación (1d)) puede aplicarse para construir una correspondiente matriz de gradiente H que relaciona los valores de medición de WRA ΔR con los valores de radio de neumático individuales Δr_i .

[Componente de análisis de vibración de rueda (WVA)]

El componente de WVA usado en las realizaciones de la presente invención puede ser de cualquier tipo

contemplado, en particular de los tipos tal como se menciona en la parte de introducción de la aplicación. Para un breve resumen de los principios de WVA se hace referencia también a la técnica anterior tal como se describió anteriormente.

5 El componente de WVA emite valores de datos de vibración de rueda (por ejemplo, la distribución de energía en diferentes bandas de frecuencia en el comportamiento dependiente del tiempo de la velocidad de rotación de una rueda particular (i), una o más frecuencias de resonancia de una rueda específica (i) o cualquier otra medida adecuada). A continuación, estas salidas de componente de WVA se denotan generalmente como valores de fenómenos de vibración.

10 El componente de WVA usado en las realizaciones de la presente invención proporciona un vector en cuatro dimensiones Δf cuyas componentes indican la desviación entre un valor de fenómenos de vibración medido actualmente y un valor de calibración correspondiente:

$$\Delta f = [\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3, \Delta f_4]^T \quad (3)$$

15 Los índices $i = 1, 2, 3$ y 4 denotan de nuevo, en este caso, las ruedas respectivas FL, FR, RL y RR (véase anteriormente). Una caída en la presión de neumático en un neumático particular llevará a un valor decreciente del valor de fenómenos de vibración medido actualmente. La componente correspondiente de Δf se hará por tanto significativamente negativa cuando disminuye la presión de neumático.

[Primera realización]

20 La figura 1 muestra un diagrama esquemático de una primera realización según la invención. En una etapa de preprocesamiento 106 (según la ecuación (2a), véase anteriormente), los valores ΔR_i ($i = YF, XL, XR, YR$) obtenidos de un WRA 104 se transforman en valores de radio de neumático individuales Δr_i ($i = FL, FR, RL, RR$). Entonces, se computan probabilidades P_i^f y P_i^r a partir de los valores de fenómenos de vibración Δf_i obtenidos a partir de un WVA 102 en la etapa 108 y a partir de los valores de radio de neumático individuales Δr_i en la etapa 112, respectivamente, basándose en una función de distribución de probabilidad acumulativa gaussiana tratando los valores Δf_i y Δr_i como variables aleatorias distribuidas gaussianas independientes. En una etapa adicional 110, se

25 calcula un factor de ponderación W_i^{fr} para penalizar la discrepancia entre las salidas Δf_i y ΔR_i de los WVA y WRA.

Basándose en los valores obtenidos P_i^f , P_i^r y W_i^{fr} , un valor de indicación de presión de neumático η_i se computa en la etapa 114, que se compara entonces con un valor umbral predeterminado en la etapa 116. Las etapas anteriores 106 a 116 se describen en más detalle a continuación.

30 En la etapa 106, el vector de medición ΔR se transforma preferiblemente en el vector Δr , cuyos elementos describen los cambios en el radio de rueda de cada rueda de vehículo particular (véase también anteriormente). Esta transformación implica la inversión de la matriz dada en la ecuación (2a), y esta inversión no es trivial ya que dicha matriz es singular. La matriz es singular ya que el componente de WRA no puede detectar desviaciones de presión que se producen simultáneamente en las cuatro ruedas. Suponiendo que el radio de rueda no puede aumentar, se obtiene sin embargo una pseudoinversión de la ecuación (2a) mediante la siguiente transformación:

$$35 \quad r_{tmp} = r_0 \cdot H^\dagger \cdot \Delta R \quad , \quad (5)$$

$$\Delta r = r_{tmp} - \max(r_{tmp}) \cdot [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T \quad . \quad (6)$$

En este caso, el vector r_{tmp} solo se usa en una etapa intermedia. La matriz H^\dagger es la pseudoinversa de la matriz H y se define de la siguiente manera:

$$H^\dagger = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} -3 & -3 & -1 & -1 \\ 3 & -1 & -3 & 1 \\ -1 & 3 & 1 & -3 \\ 1 & 1 & 3 & 3 \end{bmatrix} \quad . \quad (7)$$

40 En las etapas 108 a 114 se realizan las siguientes computaciones, para estimar la probabilidad (o nivel de confianza) η_i (un valor de salida de presión posible del sistema de estimación de presión de neumático) para la hipótesis "sin desinflado de neumático i ".

En la etapa 108, la probabilidad P_i^f de una desviación de fenómenos de vibración para el neumático i que es superior a Δf_i se computa a partir de

$$P_i^f = 1 - \Phi\left(-\frac{\Delta f_i}{\sigma_f}\right) \quad (8)$$

5 De manera similar en la etapa 112, la probabilidad de una desviación de radio de rueda para el neumático i que es superior a Δr_i se computa a partir de

$$P_i^r = 1 - \Phi\left(-\frac{\Delta r_i}{\sigma_r}\right) . \quad (9)$$

En este caso, la función $\Phi(x)$ es la función de distribución de probabilidad acumulativa (CDF) para una variable aleatoria gaussiana con desviación estándar $\sigma = 1$:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (10)$$

10 En las ecuaciones (8) y (9), σ_f y σ_r son las desviaciones estándar correspondientes del valor de fenómenos de vibración y medidas de radio de neumático, respectivamente. Preferiblemente, las desviaciones estándar pueden ser parámetros de ajuste predeterminados obtenidos de pruebas de conducción. Estos parámetros de ajuste se almacenan en una memoria de parámetros de ajuste 100. Permanecen constantes durante el funcionamiento del sistema de estimación de presión de neumático. Para los expertos en la técnica, se contemplan fácilmente
15 alternativas para elegir o medir los parámetros de desviación estándar, incluyendo aquellos con valores adaptados de manera dinámica.

En la etapa 110, se calcula un factor de ponderación adicional W_i^{fr} para penalizar la discrepancia entre las salidas Δf_i y ΔR_i del WVA 102 y WRA 104, que se define de la siguiente manera:

$$W_i^{fr} = \exp\left(\sigma_1 \left| \frac{\Delta f_i}{\sigma_f} - \frac{\Delta r_i}{\sigma_r} \right| \right) \cdot \exp\left(\sigma_2 \left| \frac{\Delta f_i \Delta r_i}{\sigma_f \sigma_r} \right| \right) , \quad (11)$$

20 y cuyo efecto se explicará en más detalle a continuación. σ_1 y σ_2 son parámetros de ajuste adicionales (véase anteriormente).

En la etapa 114, el valor de indicación de presión η_i (concretamente, la cantidad de prueba en la prueba de hipótesis anterior) para un neumático desinflado se computa de la siguiente manera:

$$\eta_i = C \cdot P_i^f \cdot P_i^r \cdot W_i^{fr} . \quad (12)$$

25 La constante C es otro parámetro de ajuste que se predifine y almacena en la memoria de parámetros de ajuste 100. Se elige de modo que si no hay desviaciones de los valores de calibración ($\Delta f_i = 0$, $\Delta r_i = 0$), el nivel de confianza para la hipótesis "sin desinflado de neumático i " es $\eta_i = 1$. Valores negativos de los parámetros de desviación Δf_i y Δr_i llevan a una disminución del valor de indicación de presión η_i . El valor η_i es un indicador para la significación estadística de la aparición de una desviación de presión específica (por ejemplo condición de neumático desinflado, caída de presión de aproximadamente una cantidad dada, aumento de presión de aproximadamente una cantidad dada).
30

En la etapa 116, el valor de indicación de presión η_i se compara con un valor umbral crítico η_c . Si η_i cae por debajo de η_c ($\eta_i < \eta_c$), se activa una señal de pérdida de presión de neumático (alarma). La señal de pérdida de presión de neumático puede emitirse por ejemplo si $\eta_i < 0,1$. Para evitar la basculación entre alarma/no alarma, la alarma no se fija de nuevo si η_i aumenta sólo ligeramente por encima del valor umbral η_c . En su lugar, se requiere que η_i aumente a un valor muy por encima del valor umbral η_c . La desviación de presión específica deseada cuya aparición se monitorizará puede ajustarse mediante los parámetros de desviación estándar σ_f y σ_r así como el valor umbral crítico η_c .
35

El efecto de introducir el factor de ponderación W_i^{fr} es para potenciar la disminución de η_i para valores de desviación sustancialmente conformes a partir del WVA 102 y WRA 104 ($\Delta f_i / \sigma_f \approx \Delta r_i / \sigma_r$) y para suprimir la disminución de η_i para valores de desviación sustancialmente no conformes ($\Delta f_i / \sigma_f \neq \Delta r_i / \sigma_r$). La fuerza del efecto puede ajustarse con los parámetros σ_1 y σ_2 , que preferiblemente tienen valores constantes predefinidos obtenidos de situaciones de pruebas de conducción, similares a los parámetros σ_f y σ_r . σ_1 y σ_2 se ajustan de modo que se obtiene la activación deseada de la señal de pérdida de presión de neumático.

Para ilustrar este efecto, se muestran gráficas de contorno del valor de indicación de presión η_i para dos conjuntos diferentes de parámetros de ajuste σ_1 y σ_2 en las figuras 2A y B. Para la gráfica mostrada en la figura 2A, los parámetros se eligen para ser pequeños ($\sigma_1 = 0$, $\sigma_2 = 0,4$) para introducir solamente un pequeño efecto de penalización. En este caso, los gradientes en la dirección de los ejes (distancia de las líneas de contorno cerca de los ejes), en los que WVA y WRA no están de acuerdo entre sí, es similar al gradiente a lo largo de la diagonal $\Delta f_i / \sigma_f = \Delta r_i / \sigma_r$, en la que WVA y WRA están de acuerdo entre sí. Para la gráfica mostrada en la figura 2B, los parámetros se eligieron para ser grandes ($\sigma_1 = 0,5$, $\sigma_2 = 1,0$) para introducir un fuerte efecto de penalización. Esto hace que el gradiente a lo largo de la diagonal sea más pronunciado que el gradiente en la dirección de los ejes.

La figura 3 muestra un diagrama de flujo del procedimiento para calcular el valor de indicación de presión η_i . En una primera etapa 300, los parámetros de ajuste σ_f , σ_r , σ_1 , σ_2 y C se reciben de la memoria de parámetros de ajuste 100. En una segunda etapa 302, el valor de desviación de fenómenos de vibración actual Δf_i se recibe de un componente de WVA, y, en una tercera etapa 304, el valor de desviación de radio de neumático actual ΔR_i se recibe de un componente de WRA. En una etapa de preprocesamiento adicional 306, el valor de desviación de radio de neumático ΔR_i se transforma en un valor de desviación de radio de neumático individual Δr_i . En dos etapas posteriores 308 y 310, los valores CDF gaussianos P_i^f y P_i^r se computan a partir de las cantidades Δf_i , σ_f y Δr_i , σ_r , respectivamente. En una etapa siguiente 312, el factor de ponderación W_i^{fr} se computa a partir de las cantidades Δf_i , Δr_i , σ_f , σ_r , σ_1 y σ_2 . Finalmente, el valor de indicación de presión η_i , se computa a partir de C, P_i^f , P_i^r y W_i^{fr} en la etapa 314, que se compara con el valor umbral predeterminado η_c en la etapa 316. Si el valor de indicación de presión η_i es inferior al valor umbral η_c , se activa una señal de pérdida de presión de neumático en la etapa 318. El procedimiento se repite para cada nuevo dato recibido de los componentes WVA y WRA.

La figura 4 muestra un diagrama de flujo para el preprocesamiento preferido de los valores de desviación de radio de rueda ΔR_i (etapa 306 en la figura 3). En una primera etapa 400, los valores de desviación de radio de rueda ΔR_i se reciben del componente de WRA. En una segunda y tercera etapa 402 y 404, la matriz pseudoinversa predeterminada H^+ y el radio de rueda nominal conocido r_0 , respectivamente, se leen de una memoria persistente (por ejemplo memoria de ajuste de parámetros 100 de la figura 1). En la etapa 406, se calcula un vector de desviación de radio temporal r_{tmp} computando el producto $r_0 \cdot H^+ \cdot \Delta R$. En una etapa posterior 408, se determina el elemento máximo del vector r_{tmp} y entonces, en la etapa 410, los valores de desviación de radio de neumático individuales Δr_i se computan a partir de los mismos (que se procesan adicionalmente en la etapa 310 de la figura 3).

[Segunda realización]

La figura 5 muestra un diagrama esquemático de una segunda realización según la invención. En este caso, el modelo subyacente a la estimación de neumático se basa en la suposición de que el valor de radio de rueda ΔR_i y el valor de vibración de rueda Δf_i dependen de los mismos parámetros de presión Δp_i en lugar de tratar estos valores de medición como cantidades independientes. El vector de presión de neumático

$$\Delta p = \begin{bmatrix} \frac{P_{0,FL} - P_{FL}}{P_{0,FL}} & \frac{P_{0,FR} - P_{FR}}{P_{0,FR}} & \frac{P_{0,RL} - P_{RL}}{P_{0,RL}} & \frac{P_{0,RR} - P_{RR}}{P_{0,RR}} \end{bmatrix}^T \quad (13)$$

consiste en cuatro valores de desviación de presión Δp_i , uno para cada rueda ($i = FL, FR, RL, RR$). p_i es el valor de presión real de la rueda i que va a determinarse, y $p_{0,i}$ es el valor de presión de calibración correspondiente. (Los Δp_i son posibles valores de salida de presión del sistema de estimación de presión de neumático.)

En una etapa de transformación de cambio de carga 504, los valores de radio de rueda ΔR_i obtenidos del WRA 502 se transforman en valores de radio de rueda modificados $\Delta \tilde{R}_i$ para reducir el impacto de cambios de carga de vehículo. Por tanto, las cuatro componentes del vector ΔR se reducen a tres componentes del vector $\Delta \tilde{R}$, que se definen como $\Delta \tilde{R} = [\Delta_{YF} \Delta_{XL} - \Delta_{XR} \Delta_{YR}]^T$ (véase la ecuación (1c)). La cantidad $\Delta_{XL} - \Delta_{XR}$ del vector $\Delta \tilde{R}$ es considerablemente menos sensible a cambios de carga que las cantidades Δ_{XL} y Δ_{XR} del vector ΔR .

Según el modelo de esta realización, la relación entre por un lado los valores de presión Δp_i y por otro lado los valores de radio de rueda $\Delta \tilde{R}_i$, obtenidos en la etapa 504 y los valores de vibración de rueda Δf_i obtenidos del WVA 500 es la siguiente:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \Delta \tilde{R} \\ \Delta f \end{bmatrix}}_y = \underbrace{\begin{bmatrix} \lambda_r \tilde{H} \\ r_0 \\ \lambda_f I \end{bmatrix}}_A \cdot \underbrace{\Delta p}_x \quad (14a)$$

5 en la que:

$$\tilde{H} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

es la versión modificada de la matriz H según la ecuación (2a). El vector de medición combinado y se determina a partir de los valores $\Delta \tilde{R}_i$ y Δf_i en la etapa 506, y la matriz de modelo A se determina a partir de la matriz H y la matriz de identidad 4×4 I ambas de las cuales se leen de una memoria de matriz 510, a partir del parámetro r_0 que es el radio de rueda nominal conocido leído de la memoria de radio de rueda nominal 512, y a partir de coeficientes de expansión λ_r y λ_f leídos de una memoria de coeficientes de expansión 514.

El modelo se basa en una expansión de serie de primer orden de los valores de medición $\Delta \tilde{R}_i$ y Δf_i en las desviaciones de presión de neumático Δp_i , en las que los coeficientes de expansión λ_r y λ_f (que preferiblemente se estiman en pruebas de conducción) son los coeficientes de primer orden de esta expansión de serie. Como normalmente una disminución de presión de neumático del 30% da como resultado aproximadamente una disminución de radio de neumático del 0,25%, una elección razonable de λ_r es:

$$\lambda_r = \frac{-2.5 \cdot 10^{-3}}{-0.3}, \quad (16)$$

La elección de λ_f depende del tipo de fenómeno de vibración medido por el componente de WVA.

Para los expertos en la técnica, pueden contemplarse relaciones más complejas entre los valores de medición $\Delta \tilde{R}_i$, Δf_i y las desviaciones de presión de neumático Δp_i . Para ello, puede suponerse una dependencia funcional generalizada preferida de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} \Delta_{YF} \\ \Delta_{XL} - \Delta_{XR} \\ \Delta_{YR} \\ \Delta f_1 \\ \Delta f_2 \\ \Delta f_3 \\ \Delta f_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1(\Delta p_1, \Delta p_2) \\ g_2(\Delta p_1, \Delta p_2, \Delta p_3, \Delta p_4) \\ g_3(\Delta p_3, \Delta p_4) \\ f(\Delta p_1) \\ f(\Delta p_2) \\ f(\Delta p_3) \\ f(\Delta p_4) \end{bmatrix} \quad (17)$$

En la que las funciones arbitrarias f , g_1 , g_2 y g_3 tienen que estimarse mediante el modelo contemplado.

Para resolver la ecuación (14a) para los valores de desviación de presión de neumático desconocidos Δp_i , el experto contemplaría varias soluciones alternativas.

Una solución preferida se basa en una estimación de mínimos cuadrados ponderados que se realiza en la etapa 516

y deriva estimaciones de mínimos cuadrados ponderados $\hat{\Delta p}_i$, para el vector de desviación de presión Δp según la siguiente fórmula:

$$\Delta \hat{p}(t) = (A^T A)^{-1} A^T y(t) \quad (18)$$

En este caso, A es la matriz definida en la ecuación (14a).

- 5 En la etapa 522, los valores de indicación de presión η_i para rueda de cada vehículo ($i = 1, 2, 3, 4$) pueden calcularse finalmente suponiendo que los valores de desviación de presión obtenidos $\hat{\Delta p}_i$ son cantidades aleatorias distribuidas gaussianas, que se computan en una etapa anterior 518 según la ecuación (10) con una desviación estándar $\sigma_{\Delta p}$ leída de una memoria de desviación estándar 520. Ambas etapas 518 y 522 implementan habitualmente la siguiente fórmula:

$$\eta_i = P_i^{fr} = 1 - \Phi\left(-\frac{\hat{\Delta p}_i}{\sigma_{\Delta p}}\right) \quad (19)$$

- 10 En la que $\phi(x)$ es la función de distribución de probabilidad acumulativa gaussiana definida en la ecuación (10). El valor de desviación estándar $\sigma_{\Delta p}$ se trata preferiblemente como un parámetro de ajuste predefinido que se obtiene de pruebas de conducción y lo más preferiblemente permanece constante durante el funcionamiento del sistema de estimación de presión de neumático. También podría determinarse a partir de computaciones estadísticas basándose en valores de desviación de presión posteriormente derivados $\hat{\Delta p}_i$ o por otros modos que los expertos en la técnica pueden contemplar.

En la etapa 524, se activan entonces señales de pérdida de presión de neumático de manera similar a en la etapa 116 de la segunda realización mediante la comparación de los valor de indicación de presión η_i con un valor umbral crítico.

- 20 La figura 6 muestra un diagrama de flujo de las etapas de procedimiento de una implementación de la realización descrita anteriormente. En la etapa 600 los valores de radio de rueda ΔR_i se obtienen del componente de WRA. En una etapa posterior 602, estos valores de radio de rueda ΔR_i se transforman en los valores de radio de rueda modificados $\tilde{\Delta R}_i$, que son menos sensibles a cambios de carga. En la etapa 604, los valores de fenómenos de vibración Δf_i se obtienen del componente de WVA. En la etapa 606, el vector de medición y se construye a partir de los valores de radio de rueda ΔR_i y los valores de fenómenos de vibración Δf_i . La matriz de modelo \bar{H} , el radio de rueda nominal r_0 y los coeficientes λ_f, λ_r se traen de una memoria en la etapa 608 para construir la matriz de modelo A en la etapa 610. Entonces, en la etapa 612 los parámetros de presión Δp_i se estiman mediante un procedimiento de mínimos cuadrados ponderados dando como resultado valores de presión estimados Δp_i . En la etapa 614, el parámetro de desviación estándar predeterminado $\sigma_{\Delta p}$ se trae de una memoria de parámetros de desviación estándar y en la etapa 616, el valor de probabilidad P_i^{fr} se computa a partir de $\hat{\Delta p}_i$ y $\sigma_{\Delta p}$ según la ecuación (19). En esta realización, el valor de indicación de presión η_i es idéntico al valor de probabilidad P_i^{fr} (véase la ecuación (19)) de modo que el cálculo en la etapa 618 es trivial. Finalmente, en la etapa 620, el valor de indicación de presión η_i , de manera similar a la primera realización, se compara con un valor umbral predeterminado η_c . Si el valor de indicación de presión η_i es inferior al valor umbral η_c , se activa una señal de pérdida de presión de neumático en la etapa 622. El procedimiento se repite para cada nuevo dato recibido de los componentes de WVA y WRA.

Además, la ecuación (14a) puede escribirse de la siguiente manera generalizada que cubre la forma general de las salidas de medición de WRA según las ecuaciones (1a-f) y otras salidas de medición de WRA así como diferentes salidas de medición de WVA:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \Delta R / \lambda_r \\ \Delta f / \lambda_f \end{bmatrix}}_y = \underbrace{\begin{bmatrix} H \\ I \end{bmatrix}}_A \underbrace{\Delta p}_x \quad (14b)$$

- 40 En la que I denota la matriz de identidad y H una matriz arbitraria adaptada a un componente de WRA específico (véase anteriormente).

[Tercera realización]

Las figuras 7 y 8 muestran un diagrama esquemático de una tercera realización de la invención y un diagrama de

flujo de las etapas de procedimiento de una implementación de la tercera realización, respectivamente. La tercera realización se basa en el mismo modelo que la segunda realización. En lugar de usar una estimación de mínimos cuadrados ponderados (la etapa 516 de la segunda realización) para derivar los valores de desviación de presión de neumático $\hat{\Delta p}_i$ a partir de los valores de fenómenos de vibración Δf_i y los valores de radio de rueda $\Delta \tilde{R}_i$, según la

5 ecuación de modelo (14a) (o los valores de radio de rueda ΔR_i según la ecuación (14b)), alternativamente se usa un filtro adaptativo de Kalman en una etapa correspondiente 716. Por tanto, se omite en este caso una descripción de etapas idénticas realizadas en la tercera realización. En su lugar, se hace referencia a la descripción de las etapas correspondientes realizadas por la segunda realización tal como se muestra en las figuras 5 y 6.

10 El filtro adaptativo de Kalman recibe los valores de entrada de los componentes WVA y WRA 700 y 702 (de manera más precisa de la etapa de transformación de cambio de carga 704) y emite sus estimaciones de filtro para los valores de desviación de presión Δp_i , mediante lo cual adapta simultáneamente sus parámetros de filtro. La adaptación de parámetros de filtro y el cálculo de las estimaciones de filtro pueden implementarse fácilmente dentro de un sistema de estimación de presión y ofrece menos carga computacional y requisitos de memoria.

Para una descripción más detallada del filtro adaptativo de Kalman véase por ejemplo los libros:

15 [1] Maybeck, Peter S.: Stochastic models, estimation and control, Mathematics in Science and Engineering, Volume 141, 1979;

[2] Zarchan, Paul and Musoff, Howard: Fundamentals of Kalman Filtering: A Practical Approach, 2000, AIAA.

La ecuación de filtro para el filtro adaptativo de Kalman se da mediante la ecuación (14a) según:

$$y(t) = A \cdot \Delta p(t) + e(t) \quad (20a)$$

20 en la que $e(t)$ es un vector de ruido. Para la secuencia de estado (es decir la presión de neumático conocida $\Delta p(t)$) se aplica un modelo estándar:

$$\Delta p(t+1) = \Delta p(t) + w(t) \quad (20b)$$

en el que $w(t)$ es ruido blanco.

25 Aplicando los modelos (20a) y (20b), el filtro de Kalman estima entonces un valor de presión de neumático $\hat{\Delta p}$ según la siguiente recursión:

$$\begin{aligned} \hat{\Delta p}(t) &= \hat{\Delta p}(t-1) + K(t)(y(t) - A\hat{\Delta p}(t-1)) \\ K(t) &= P(t-1)A(S + A^T P(t-1)A)^{-1} \\ P(t) &= P(t-1) - P(t-1)A^T(S + A^T P(t-1)A)^{-1}A + Q \end{aligned} \quad (20c)$$

Las matrices S y Q se consideran parámetros de ajuste que controlan la velocidad de adaptación del filtro de Kalman.

30 Los valores de indicación de presión η_i para cada rueda de vehículo ($i = 1, 2, 3, 4$) se calculan entonces a partir de los valores de desviación de presión obtenidos $\hat{\Delta p}_i$ de la misma manera que la mostrada en la segunda realización.

35 La figura 8 muestra un diagrama de flujo de las etapas de procedimiento de una implementación de la realización descrita anteriormente. Las etapas de procedimiento de la tercera realización difieren de las etapas de procedimiento de la segunda realización descrita en la figura 6 solamente en que la estimación de los parámetros de presión mediante un procedimiento de mínimos cuadrados ponderados en la etapa 612 de la figura 6 se sustituye con la estimación del filtro de Kalman descrita anteriormente en la etapa 812 de la figura 8. Las demás etapas de procedimiento restantes son idénticas en ambas realizaciones.

[Cuarta Realización]

40 La figura 9 muestra un diagrama esquemático de una cuarta realización de la invención. La cuarta realización corresponde básicamente a la primera realización con la excepción de que añade antes de la etapa de preprocesamiento de radio de rueda 106 de la primera realización (con el número de referencia 906 en la figura 9) una etapa de estimación de equilibrio de carga 905. Esta etapa de estimación de equilibrio de carga 905 se ilustra en más detalle en la figura 10. Se basa principalmente en el modelo definido por la ecuación (14b). Este modelo se modifica en esta realización añadiendo un parámetro de equilibrio de carga l como una componente adicional al vector x que también comprende los valores de presión real Δp_i que van a determinarse. El parámetro de equilibrio

de carga l necesita determinarse para compensar los cambios de carga desde las ruedas delanteras hasta las ruedas traseras, y viceversa, durante la conducción del vehículo. La matriz de modelo A leída de la memoria de matriz de modelo 1006 se modifica con respecto a la matriz A de la ecuación (14a) de modo que el parámetro de equilibrio de carga l afecta de manera apropiada los valores de desviación de radio de rueda Δ_{XL} y Δ_{XR} . Un aumento del valor de l corresponde a un desplazamiento de carga a las ruedas traseras mientras que una disminución del valor de l corresponde a un desplazamiento de carga a las ruedas delanteras.

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \Delta R/\lambda_r \\ \Delta f/\lambda_f \end{bmatrix}}_y = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_A \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} \Delta p \\ l \end{bmatrix}}_x \quad (21)$$

Debe observarse que al contrario que en la segunda realización, que se basa en los valores de radio de neumático modificados $\tilde{\Delta R}_i$ (véase la ecuación (14a)), el vector de medición y incluye ahora los valores de radio de neumático ΔR_i tal como se obtienen del componente de WRA 1000 que emite valores de medición de WRA según la ecuación (1a).

Para estimar los parámetros de estado x (Δp_i y l) en la etapa 1014, puede aplicarse uno cualquiera de los procedimientos presentados en las realizaciones segunda y tercera (estimación de mínimos cuadrados promedio tal como se realiza en la etapa 516, el filtro de Kalman tal como se aplica en la etapa 716). En particular, la estimación de mínimos cuadrados promedio del parámetro de equilibrio de carga l se da de la siguiente manera:

$$\hat{l} = \frac{1}{2\lambda_r} (\Delta_{XR} + \Delta_{XL}) + \frac{1}{2\lambda_f} (\Delta f_1 + \Delta f_2 - \Delta f_3 - \Delta f_4) \quad (22)$$

Puede obtenerse entonces una compensación de carga del valor ΔR_i restando el valor de estimación de equilibrio de carga \hat{l} de los valores de radio de neumático correspondientes ΔR_i en la etapa 1016:

$$\tilde{\Delta R} = \Delta R - \hat{l} \lambda_r \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Entonces, se realizan las etapas adicionales 906 a 916 que son idénticas a las etapas 106 a 116 de la primera realización. Se omite en este caso una descripción de estas etapas idénticas. En su lugar, se hace referencia a la descripción de las etapas correspondientes 106 a 116 tal como se muestran en las figuras 1 y 3.

La figura 11 muestra un diagrama de flujo de las etapas de procedimiento de una implementación de la estimación de equilibrio de carga. En la etapa 1100 y la etapa 1102, los valores de radio de rueda ΔR_i y los valores de fenómenos de vibración Δf_i se obtienen del componente de WRA y el componente de WVA, respectivamente. En la etapa 1104, la matriz H , el radio de rueda nominal r_0 y los coeficientes λ_f , λ_r se traen de las memorias correspondientes. En la etapa 1106, el vector de medición y se construye a partir de los valores de radio de rueda ΔR_i y los valores de fenómenos de vibración Δf_i y, además, el vector de medición y se normaliza con los coeficientes λ_f y λ_r . En la etapa 1108, la matriz de modelo A se construye a partir de la matriz H y el radio de rueda nominal r_0 . En la etapa 1110, se estiman los parámetros de carga y desviación de presión l y Δp_i y restando el valor de carga estimado \hat{l} de los valores de radio de rueda ΔR_i en la etapa 1112 según la ecuación (23), se obtienen los valores de

radio de rueda corregidos en carga $\Delta\tilde{R}_i$, que se emiten entonces en la etapa 1114.

Las etapas de procedimiento restantes de esta realización son idénticas a las etapas de procedimiento de la primera realización y por ello se hace referencia a la figura 3 y la descripción correspondiente.

5 La compensación de cambio de carga no necesita estar activa en todos los instantes de tiempo. Por ejemplo, puede activarse mediante una condición como $\Delta X_L \cdot \Delta X_R > 1$ y $\min(|\Delta X_L|, |\Delta X_R|) > \kappa$ en la que κ es un umbral. Usando la condición de activación anterior, la funcionalidad para desinflados de neumático individual no se verá afectada en absoluto. Para desinflados en la dirección del eje, el procedimiento de compensación de carga requerirá en principio que tanto WVA como WRA indiquen pérdida de presión antes de que se emita una “pérdida de presión de neumático”.

10 **[Quinta realización]**

A diferencia de la cuarta realización, que corrige el impacto de cambios de carga con un parámetro de carga estimado, la siguiente realización alternativa para un sistema de estimación de presión de neumático trata estos cambios de carga como una variable aleatoria en lugar de una variable estimada.

15 Por tanto, de manera similar a la “mitad superior” de la ecuación (21), ΔR puede estar relacionado con Δp y el parámetro de equilibrio de carga l según la siguiente ecuación, suponiendo que solamente Δp es un vector determinista y l es una variable aleatoria:

$$(\Delta R / \lambda_r) = \frac{1}{r_0} \cdot H \cdot \Delta p + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} l + e \quad (24)$$

20 en la que e es un vector de ruido gaussiano de media cero que refleja fluctuaciones estadísticas no correlacionadas adicionales de los radios de neumático. El ruido introducido por el vector de ruido puede caracterizarse por la siguiente condición: $E\{ee^T\} = \sigma_e^2 I$, en la que $\sigma_e^2 I$ es la varianza de la variable aleatoria e . Además, se supone que el equilibrio de carga l es una variable aleatoria gaussiana de media cero que no está correlacionada con e . Por tanto, $\Delta R / \lambda_r$ está distribuida de manera gaussiana con media $H \cdot \Delta p / r_0$ y la siguiente matriz de covarianza $Q_{\Delta R}$:

$$Q_{\Delta R} = \sigma_r^2 I + \sigma_l^2 \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}^T \quad (25)$$

En la que σ_l^2 es la varianza de la variable aleatoria l .

25 La matriz de covarianza $Q_{\Delta R}$ puede elegirse alternativamente de la siguiente manera, en particular para hacer el sistema de estimación de presión de neumático más robusto frente a desplazamientos en la velocidad de guiñada de alta precisión (véase el documento WO 01/87647) debido a curvas largas:

$$Q_{\Delta R} = \sigma_r^2 I + \sigma_l^2 \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}^T + \sigma_c^2 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}^T \quad (26)$$

En la que σ_c^2 es la varianza de la variable aleatoria l .

30 Por consiguiente, de manera similar a la “mitad inferior” de la ecuación (21), el vector de fenómenos de vibración normalizado $\Delta f / \lambda_f$ está distribuido de manera gaussiana con media Δp y una matriz de covarianza $Q_{\Delta f} = \sigma_f^2 I$.

Una estimación (máxima probabilidad) para el valor de presión Δp puede obtenerse entonces a partir de la solución de mínimos cuadrados de la siguiente ecuación:

$$\begin{bmatrix} Q_{\Delta R}^{-1/2}(\Delta R/\lambda_r) \\ Q_{\Delta f}^{-1/2}(\Delta f/\lambda_f) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{r_0} Q_{\Delta R}^{-1/2} H \\ Q_{\Delta f}^{-1/2} \end{bmatrix} \Delta p \quad (27)$$

El valor de presión estimado $\hat{\Delta p}$ puede procesarse tal como se describe en el contexto de la segunda realización (ecuación (19)). Por tanto, los parámetros σ_i^2 , σ_r^2 y σ_c^2 pueden ser parámetros de ajuste o parámetros estadísticos (véase anteriormente).

5 **[Sexta Realización]**

A continuación, se describe otra realización alternativa se describe que depende de la prueba χ^2 estándar. La suposición básica en esta realización es que bajo la hipótesis “sin desinflado de neumático i”, $\Delta f_i/\sigma_f$ y $\Delta r_i/\sigma_r$ son dos variables aleatorias gaussianas no correlacionadas de media cero con varianza unitaria, es decir la suma de $(\Delta r_i/\sigma_r)^2$ y $(\Delta f_i/\sigma_f)^2$ tiene una distribución χ^2 con dos grados de libertad.

10 Bajo esta suposición, un sistema de estimación de presión de neumático basado en χ^2 puede basarse en la siguiente relación:

$$\left(\frac{\Delta f_i}{\sigma_f}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_i}{\sigma_r}\right)^2 > \kappa \quad (28)$$

15 en la que, para cada rueda i, Δf_i es el valor obtenido actualmente de los fenómenos de vibración, Δr_i es el valor obtenido actualmente del radio de neumático (véase la ecuación (6)), σ_f y σ_r son las desviaciones estándar correspondientes, y κ es un valor umbral. De nuevo, las desviaciones estándar σ_f y σ_r pueden ser parámetros de ajuste predeterminados obtenidos de pruebas de conducción o magnitudes estadísticas “reales” que se actualizan para cada valor recién obtenido para los fenómenos de vibración y el radio de neumático. Para los expertos en la técnica, se contemplan fácilmente varias alternativas para elegir o medir los parámetros de desviación estándar, incluyendo aquellos con valores adaptados de manera dinámica.

20 El parámetro umbral κ se elige de modo que, por ejemplo, se detectará una condición de neumático desinflado si se cumple la ecuación (28).

Además, a partir de χ^2 para neumático i (según el lado izquierdo de la ecuación (28)) puede obtenerse un valor de indicación de presión η_i (similar al obtenido en las realizaciones anteriores) mediante la función de distribución acumulativa $\chi^2 F(\chi^2, 2)$ para dos grados de libertad

$$25 \quad \eta_i = 1 - F(\chi^2, 2) \quad (29)$$

que es el nivel de confianza para la hipótesis “sin desinflado de neumático i”. Como una alternativa de aplicar el valor umbral κ anterior junto con la ecuación (28), el valor de indicación de presión η_i obtenido en la ecuación (29) puede tratarse entonces de manera similar a las realizaciones anteriores.

[Séptima realización]

30 A continuación, se describe una realización alternativa para el sistema de estimación de presión de neumático. El procedimiento subyacente no es paramétrico en el sentido de que no se introduce ninguna suposición específica sobre la distribución estadística de Δf y Δr . En su lugar, se recogen datos de entrenamiento durante al menos una prueba de condición que, en condiciones de conducción normales, se usan para evaluar la hipótesis de “sin desinflado de neumático i”. La única suposición realizada es que la estimación de presión de neumático individual para un neumático individual i puede realizarse considerando solamente Δr_i y Δf_i correspondientes a este neumático i.

40 La figura 14 muestra cuatro gráficas diferentes, una para cada uno de los cuatro neumáticos, en las que pares de parámetros (Δf_i , Δr_i) obtenidos para cada neumático individual i se dibujan durante una prueba de conducción en la condición de “sin desinflado de neumático i”. Una caja dibujada en las gráficas de la figura 14 indica que esta zona en el espacio de parámetros (Δf_i , Δr_i) se ha “visitado”, lo que significa que el par de parámetros (Δf_i , Δr_i) correspondiente se produjo al menos una vez durante el registro de los datos de entrenamiento. Las zonas en las gráficas de la figura 14 ocupadas por cajas representan por tanto la condición de “sin desinflado de neumático i”. Por tanto, una condición de “sin desinflado de neumático i” sólo se indicará durante la condición de conducción normal para el caso de que un par de parámetros (Δf_i , Δr_i) obtenidos actualmente estén más allá de estas zonas llenas de

cajas.

Puede diseñarse un sistema de estimación de presión de neumático sencillo especificando, por ejemplo, un número pequeño de puntos de cuadrícula en el espacio de parámetros $(\Delta f_i, \Delta r_i)$ obtenidos para cada neumático i . Estos puntos de cuadrícula están vinculados entre sí y separan una primera zona que representa la condición de “desinflado de neumático i ” de una segunda zona que indica la condición de “sin desinflado de neumático i ”. El sistema de estimación de presión de neumático sólo tiene que decidir si un par de parámetros $(\Delta f_i, \Delta r_i)$ obtenidos actualmente está en la primera o la segunda zona. Esta realización de un sistema de estimación de presión de neumático es muy económica, en particular debido a su baja complejidad computacional. Una ventaja adicional es que el proceso de separar las zonas primera y segunda (por ejemplo, usando los puntos de cuadrícula mencionados anteriormente, etc.) puede automatizarse fácilmente.

[Octava realización]

La siguiente realización de un sistema de estimación de presión de neumático se basa en un enfoque diferente en el que los valores de fenómenos de vibración y radio de los WVA y WRA junto con valores de desviación de presión se miden y recogen durante varias situaciones de conducción del mundo real (incluyendo casos con condiciones de “desinflado de neumático i ” y “sin desinflado de neumático i ”). Para cada instante de tiempo, puede recogerse el siguiente vector para los valores de fenómenos de vibración y radio de los WVA y WRA:

$$\varphi(t) = [\Delta R(t) \quad \Delta f(t)]^T \quad (30)$$

Además, puede establecerse un modelo general que relaciona estos vectores $\varphi(t)$ con los valores de desviación de presión $\Delta p(t)$ de la siguiente manera:

$$\Delta p(t) = f(\varphi(t), \theta) \quad (31)$$

en la que f es una función arbitraria y la variable generalizada θ designa algunos parámetros desconocidos. Una elección preferible para la función f es una expansión de serie en el vector $\varphi(t)$ con parámetros de expansión θ . Por ejemplo, pueden usarse redes neuronales, redes de función de base radial, y así sucesivamente como una expansión de serie de este tipo.

Los parámetros desconocidos θ pueden estimarse entonces basándose en una función dada y una colección de N medidas minimizando el siguiente criterio de mínimos cuadrados estándar:

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} V_N(\theta) = \arg \min_{\theta} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\Delta p_i(t) - f(\varphi_i(t), \theta)] [\Delta p_i(t) - f(\varphi_i(t), \theta)]^T \quad (32)$$

en el que los vectores $\varphi(t)$ y los valores de desviación de presión $\Delta p(t)$ son valores de datos medidos, y N designa el número de tales valores de datos medidos. Una decisión entre una condición de “desinflado de neumático i ” y una “sin desinflado de neumático i ” se basa finalmente en las salidas del modelo estimado:

$$\Delta \hat{p}(t) = f(\varphi(t), \hat{\theta}) \quad (33)$$

Para los valores de desviación de presión $\Delta p(t)$ medidos, pueden usarse valores binarios para representar desviaciones de presión de la presión nominal, por ejemplo, se deja que $\Delta p_i(t)=0$ represente una situación de caída de presión no significativa y $\Delta p_i(t)=1$ una situación de caída de presión significativa en el neumático i . Estos valores binarios pueden introducirse manualmente en el sistema conduciendo en una condición de “sin desinflado de neumático i ” ($\Delta p_i(t)=0$ se introducirá para todos los vectores medidos $\varphi(t)$ y en una condición de “desinflado de neumático i ” ($\Delta p_i(t)=1$ se introducirá para todos los vectores medidos $\varphi(t)$). Alternativamente, pueden introducirse valores de desviación de presión fijos $\Delta p(t)$ en los que la presión se cambia de una manera en etapas. Como otra alternativa, puede usarse un sistema de medición de presión de neumático para introducir los valores de desviación de presión $\Delta p(t)$ medidos en el sistema.

[Miscelánea]

Según un ejemplo de realización de la invención, el sistema de estimación de presión de neumático puede ser cualquier máquina que puede ejecutar una secuencia de instrucciones que especifica acciones que van a tomarse por esa máquina para provocar que la máquina realice una cualquiera de las metodologías descritas anteriormente. La máquina puede ser un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) que incluye un procesador y una unidad de memoria. Las instrucciones pueden residir, completamente o al menos parcialmente, dentro de la memoria y/o dentro del procesador.

En particular, el sistema de estimación de presión de neumático puede implementarse en forma de un sistema

5 informático dentro del que puede ejecutarse una secuencia de instrucciones. El sistema informático puede entonces incluir además una unidad de visualización de video, un dispositivo de entrada alfanumérico (por ejemplo un teclado), un dispositivo de control de cursor (por ejemplo un ratón), una unidad de disco. La unidad de disco incluye un medio legible por máquina en el que se almacena la secuencia de instrucciones (es decir, un programa o software informático) que realiza una cualquiera, o todas las metodologías descritas anteriormente.

10 El producto de programa informático puede ser un medio legible por máquina que puede almacenar o codificar la secuencia de instrucciones para la ejecución mediante la máquina y que provocan que la máquina realice una cualquiera de las metodologías de la presente invención. Por consiguiente, se considerará que el medio legible por máquina incluirá, pero no se limitará a memorias de estado sólido, discos ópticos y magnéticos y señales de onda portadora.

En la descripción anterior, por motivos de simplificación, se hace referencia mayoritariamente al caso del procedimiento. El caso del sistema puede derivarse fácilmente del último sustituyendo en los lugares apropiados en la descripción la expresión "etapa" para el caso del procedimiento con la expresión "componente" para el caso del sistema.

15 Además, las demás publicaciones y sistemas existentes mencionados en esta memoria descriptiva se incorporan en el presente documento mediante referencia.

20 Anteriormente, se describen varias realizaciones de las invenciones dentro del contexto de ruedas de vehículo. Sin embargo, debe observarse que la invención no se limita a ruedas de vehículo sino que puede incluir otras ruedas, como ruedas de aviones, ruedas de transporte, ruedas de máquina y similares. Además, no se limita a un número particular de ruedas.

El sistema de estimación de presión de neumático puede comprender además medios de detección para detectar conducción sobre gravilla. Sobre gravilla, el sistema puede ajustarse para que sea menos sensible a cambios de presión. En principio, pueden permitirse sólo alarmas en un neumático individual sobre gravilla.

25 Debe observarse que los componentes de WRA y WVA no se limitan a los componentes de WRA y WVA específicos tal como se describen anteriormente.

En general, puede usarse cualquier componente de WRA que proporciona valores de radio de rueda individuales o combinaciones (lineales) de los mismos. Por ejemplo, valores de radio de rueda individuales o combinaciones de los mismos pueden proporcionarse combinando la velocidad de vehículo absoluta con la velocidad de rotación de un neumático. La velocidad de vehículo absoluta puede obtenerse por ejemplo

30 - mediante correlacionar señales de velocidad de rueda de ruedas delanteras y traseras (para más detalles se hace referencia a la solicitud en tramitación junto con la presente "Determination of a vehicle's absolute velocity" del mismo solicitante, cuyo contenido se incorpora en el presente documento),

- mediante correlacionar imágenes de superficie de carretera tomadas por cámaras cerca de los neumáticos delanteros y traseros,

35 - a partir de datos de sistemas de navegación,

- a partir de una "quinta" rueda (por ejemplo, no deformable),

- a partir de observaciones de marcas en la carretera,

- a partir de la detección de una cinta magnética en la superficie de la carretera, o

- a partir de dinámica lateral y longitudinal, etc.

40 De manera más precisa, en la determinación de velocidad mencionada en primer lugar de un vehículo que tiene al menos un par de una rueda delantera y una trasera que están separadas por una distancia de rueda B, se determinan señales de rueda delantera y trasera que son indicativas del comportamiento dependiente del tiempo de las velocidades de rueda delantera y trasera, respectivamente. Las señales de rueda delantera y trasera se correlacionan para determinar una característica de correlación específica indicativa del retardo de tiempo entre las
45 señales de velocidad de la rueda delantera y la rueda trasera. La velocidad del vehículo se determina basándose en dicha característica de correlación y la distancia de rueda. En particular, la acción de correlación se basa en una función de correlación de las señales de velocidad de la rueda delantera y trasera, en la que dicha función de correlación es una función de una diferencia de tiempo, y la característica de correlación es la diferencia de tiempo específica que corresponde al máximo de dicha función de correlación. Por tanto, la velocidad de vehículo se
50 computa a partir de la diferencia de tiempo específica. Por ejemplo, la función de correlación $R_{13}(\tau)$ para la rueda delantera izquierda y trasera izquierda puede definirse como

$$R_{13}(\tau) = E[(\omega_1(t) - E(\omega_1(t)))(\omega_3(t - \tau) - E(\omega_3(t - \tau)))] \quad (34)$$

en la que $\omega_i(t)$ denota la señal de velocidad de rueda de la rueda respectiva i , $E(\omega(t))$ denota el valor de expectación de $\omega(t)$, y τ denota el retardo de tiempo. Pequeñas perturbaciones inyectadas por la superficie irregular de la carretera aparecerán primero en $\omega_1(t)$ y B/v_i segundos más tarde en $\omega_3(t)$. En este caso, v_i denota la velocidad del coche. La función de correlación $R_{13}(\tau)$ es una función de retardo de tiempo τ y mostrará un pico en

$$\tau = \frac{B}{v_i} \quad (35)$$

Al conducir con velocidad constante, se puede obtener $R_{13}(\tau)$ directamente. El retardo de tiempo se obtiene a partir de $\hat{\tau} = \arg \max_{\tau} R_{13}(\tau)$. La inserción de la $\hat{\tau}$ obtenida en la ecuación (35) da entonces la velocidad absoluta del coche.

Alternativamente, la acción de correlación comprende una compensación con una señal de velocidad de rueda de la rueda delantera o trasera de modo que la característica de correlación permanece inalterada con una velocidad variable del vehículo pero cambia con variaciones de radio de rueda de la rueda respectiva. En este caso, se aplica una función de correlación de las señales de velocidad de rueda delantera y trasera que es una función del recíproco del producto de la señal de velocidad de rueda conocida y el radio de rueda desconocido específico. Entonces, la característica de correlación es el radio de rueda específico que corresponde al máximo de la función de correlación, mediante lo cual la velocidad de vehículo se computa a partir del radio de rueda específico y la señal de velocidad de rueda correspondiente. En detalle, el uso de la relación $\tau = B/\omega_i r_i$ y la definición de $x = B/r_i$ en la ecuación (34) da como resultado una función de correlación compensada en velocidad

$$\bar{R}_{13}(x) = E(\omega_1(t) - E(\omega_1(t))) (\omega_3(t - x/\omega_1(t)) - E(\omega_3(t - x/\omega_1(t)))) \quad (36)$$

Maximizando $\bar{R}_{13}(x)$ con respecto a la variable $x = B/r_i$ se puede obtener un valor de estimación \hat{r}_1 para el

radio de rueda de la rueda delantera izquierda $\hat{r}_1 = \arg \max_{r} \bar{R}_{13}(\frac{B}{r})$. De manera similar, esto permite estimar todos los radios de rueda r_i del vehículo incluso a velocidades de vehículo que varían rápidamente. A partir de estos radios de rueda r_i , puede determinarse la velocidad absoluta $v_i = \omega_i r_i$ en cada rueda y pueden usarse transformaciones geométricas sencillas para encontrar la velocidad en cualquier posición del vehículo. Naturalmente, los radios de rueda r_i así determinados pueden usarse directamente para una combinación con los valores de datos de vibración de rueda.

Alternativamente, la característica de correlación se obtiene mediante la transformada de Fourier de las señales de velocidad de rueda para obtener señales de velocidad de rueda transformadas por Fourier y calcular una función de fase de la relación de las señales de velocidad de rueda transformadas por Fourier de la rueda delantera y trasera. Por tanto, la pendiente de dicha función de fase es la característica de correlación indicativa del retardo de tiempo. En detalle, la transformada de Fourier de la señal de velocidad de ruedas $\omega_i(t)$ con procedimientos FFT estándar da como resultado coeficientes de Fourier $\Omega_i(f)$ correspondientes. Un desplazamiento de tiempo de τ de las señales de velocidad de ruedas en el dominio del tiempo $\omega(t) \rightarrow \omega(t-\tau)$ corresponde a un desplazamiento de fase $\Omega(f) \rightarrow \Omega(f)e^{-2\pi f\tau}$ en el dominio de frecuencia. Un enfoque es ajustar una línea recta a la curva de fase de $\Omega_1(f) / \Omega_3(f)$ que debería tener una pendiente de $2\pi\tau$.

De manera similar, el componente de WVA podría ser cualquier componente que proporciona valores de datos de vibración de rueda, por ejemplo usando

- micrófonos para registrar ruido de conducción cerca de las ruedas de vehículo,
- acelerómetros para medir vibraciones de vehículo, o
- sensores de suspensión de rueda, etc.

También pueden usarse otras señales de entrada en el sistema de estimación de presión de neumático para compensación de carga. Cualquier señal que mide el peso sobre una rueda o el vehículo entero puede contemplarse, tal como suspensión de rueda, sensor de tráiler, estimador de masa física etc.

REIVINDICACIONES

1. Método para estimar la aparición de una desviación de presión de neumático específica entre valores de presión real y nominal para una o una pluralidad de ruedas (i), que comprende las siguientes etapas:

5 a) posteriormente obtener uno o más valores de medición de análisis de radio de rueda (ΔR) a partir de un componente de análisis de radio de rueda (104), en el que los valores de medición de análisis de radio de rueda (ΔR) están relacionados con valores de radio de rueda individuales (Δr_i) de los que cada uno es indicativo del radio de rueda de una rueda particular (i);

10 b) posteriormente obtener uno o más valores de datos de vibración de rueda (Δf_i) a partir de un componente de análisis de vibración de rueda (102), en el que cada uno de los valores de datos de vibración de rueda (Δf_i) es indicativo de un fenómeno de vibración en el comportamiento dependiente del tiempo de la velocidad de rotación de una rueda particular (i); y

c) calcular uno o más valores de salida de presión de neumático ($\eta_i, \Delta p_i$) basándose en tanto los valores de medición de análisis de radio de rueda (ΔR) como los valores de datos de vibración de rueda (Δf_i),

15 caracterizado porque cada valor de salida de presión de neumático ($\eta_i, \Delta p_i$) es indicativo de la desviación de presión de neumático específica para una rueda particular (i) mediante:

- calcular un primer valor de función de distribución de probabilidad acumulativa (P_i^f) a partir del valor de datos de vibración de rueda (Δf_i) que es indicativo de la significación estadística de la desviación del valor de datos de vibración de rueda (Δf_i) de un valor de vibración de rueda nominal;

20 - calcular un segundo valor de función de distribución de probabilidad acumulativa (P_i^r) a partir de los valores de medición de análisis de radio de rueda (ΔR) que es indicativo de la significación estadística de la desviación de los valores de radio de rueda individuales (Δr_i) de un valor de radio de rueda nominal; y

- calcular el valor de salida de presión de neumático (η_i) a partir del producto de los valores de función de distribución de probabilidad acumulativa primero y segundo (P_i^f, P_i^r).

25 2. Método según la reivindicación 1, en el que los valores de función de distribución de probabilidad acumulativa primero y segundo (P_i^f, P_i^r) son valores de función de distribución de probabilidad acumulativa gaussiana; y el cálculo de los valores de probabilidad primero y segundo (P_i^f, P_i^r) se basa además en un primer y segundo parámetro de desviación estándar (σ_f, σ_r), respectivamente.

30 3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el producto de los valores de función de distribución de probabilidad acumulativa primero y segundo (P_i^f, P_i^r) se multiplica además con un factor de ponderación (W_i^{fr}) que se calcula basándose en el valor de datos de vibración de rueda (Δf_i), los valores de medición de análisis de radio de rueda (ΔR) o los valores de radio de rueda individuales (Δr_i), y en parámetros de desviación estándar (σ_f, σ_r).

4. Método según la reivindicación 3, en el que el factor de ponderación W_i^{fr} se calcula de la siguiente manera:

35
$$W_i^{fr} = \exp\left(\sigma_1 \left| \frac{\Delta f_i}{\sigma_f} - \frac{\Delta r_i}{\sigma_r} \right| \right) \cdot \exp\left(\sigma_2 \left| \frac{\Delta f_i \Delta r_i}{\sigma_f \sigma_r} \right| \right),$$

en el que Δf_i es el valor de datos de vibración de rueda, Δr_i es el valor de radio de rueda individual, σ_f y σ_r son parámetros de desviación estándar, y σ_1 y σ_2 son parámetros de ajuste.

5. Método según la reivindicación 3, en el que el factor de ponderación W_i^{fr} se calcula de la siguiente manera:

40
$$W_i^{fr} = \exp\left(\sigma \left| \frac{\Delta f_i \Delta r_i}{\sigma_f \sigma_r} \right| \right),$$

en el que Δf_i es el valor de datos de vibración de rueda, Δr_i es el valor de radio de rueda individual, σ_f y σ_r son parámetros de desviación estándar, y σ es un parámetro de ajuste.

6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los valores de medición de análisis de radio de rueda (ΔR) se transforman a valores de radio de rueda modificados ($\Delta \tilde{R}$) que son menos sensibles a cambios de carga en la pluralidad de ruedas (i).
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende las siguientes etapas:
 - calcular un valor de equilibrio de carga (l) basándose en los datos de vibración de rueda y los valores de medición de análisis de radio de rueda (Δf_i , ΔR) que es indicativo de un equilibrio de carga en la pluralidad de ruedas (i);
 - calcular valores de medición de análisis de radio de rueda corregidos en equilibrio de carga ($\Delta \tilde{R}$) basándose en los valores de medición de análisis de radio de rueda (ΔR) y el valor de equilibrio de carga estimado (l).
8. Método según la reivindicación 7, en el que el cálculo del valor de equilibrio de carga (l) se basa en un modelo que asume una relación lineal entre, por un lado, los datos de vibración de rueda y los valores de medición de análisis de radio de rueda (Δf_i , ΔR) y, por otro lado, los valores de salida de presión de neumático (Δp_i) y el valor de equilibrio de carga (l).
9. Método según la reivindicación 8, en el que el valor de equilibrio de carga (l) se calcula a partir de los datos de vibración de rueda y los valores de medición de análisis de radio de rueda (Δf_i , ΔR) mediante un método de mínimos cuadrados promedio (1014).
10. Método según la reivindicación 8, en el que el valor de equilibrio de carga (l) se calcula a partir de los datos de vibración de rueda y los valores de medición de análisis de radio de rueda (Δf_i , ΔR) mediante un filtro adaptativo (1014).
11. Método según la reivindicación 10, en el que el filtro adaptativo (1014) es un filtro de Kalman.
12. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada uno de los valores de medición de análisis de radio de rueda corresponde o bien a un valor de radio de rueda individual o bien a una combinación lineal de valores de radio de rueda individuales.
13. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el fenómeno de vibración comprende propiedades espectrales en el comportamiento dependiente del tiempo de la velocidad de rotación de una rueda particular (i).
14. Método para estimar la aparición de una desviación de presión de neumático específica entre valores de presión real y nominal para una o una pluralidad de ruedas (i), que comprende las siguientes etapas:
 - a) posteriormente obtener uno o más valores de medición de análisis de radio de rueda (ΔR) a partir de un componente de análisis de radio de rueda (104), en el que los valores de medición de análisis de radio de rueda (ΔR) están relacionados con valores de radio de rueda individuales (Δr_i) de los que cada uno es indicativo del radio de rueda de una rueda particular (i);
 - b) posteriormente obtener uno o más valores de datos de vibración de rueda (Δf_i) a partir de un componente de análisis de vibración de rueda (102), en el que cada uno de los valores de datos de vibración de rueda (Δf_i) es indicativo de un fenómeno de vibración en el comportamiento dependiente del tiempo de la velocidad de rotación de una rueda particular (i); y
 - c) calcular uno o más valores de salida de presión de neumático (η_i , Δp_i) basándose en tanto los valores de medición de análisis de radio de rueda (ΔR) como los valores de datos de vibración de rueda (Δf_i) en el que cada valor de salida de presión de neumático (η_i , Δp_i) es indicativo de la desviación de presión de neumático específica para una rueda particular (i), caracterizado porque el valor de salida de presión de neumático se calcula basándose en una prueba χ^2 a partir de los valores de datos de radio de rueda individuales (Δr_i) y los valores de datos de vibración de rueda (Δf_i).
15. Sistema para estimar la aparición de una desviación de presión de neumático específica entre valores de presión real y nominal para una o una pluralidad de ruedas (i), que tiene medios para realizar el método de cualquiera de las reivindicaciones 1-14.
16. Producto de programa informático que incluye código de programa para llevar a cabo un método de

procesamiento de señal digital, al ejecutarse en un sistema informático, para realizar el método según cualquiera de las reivindicaciones 1-14.

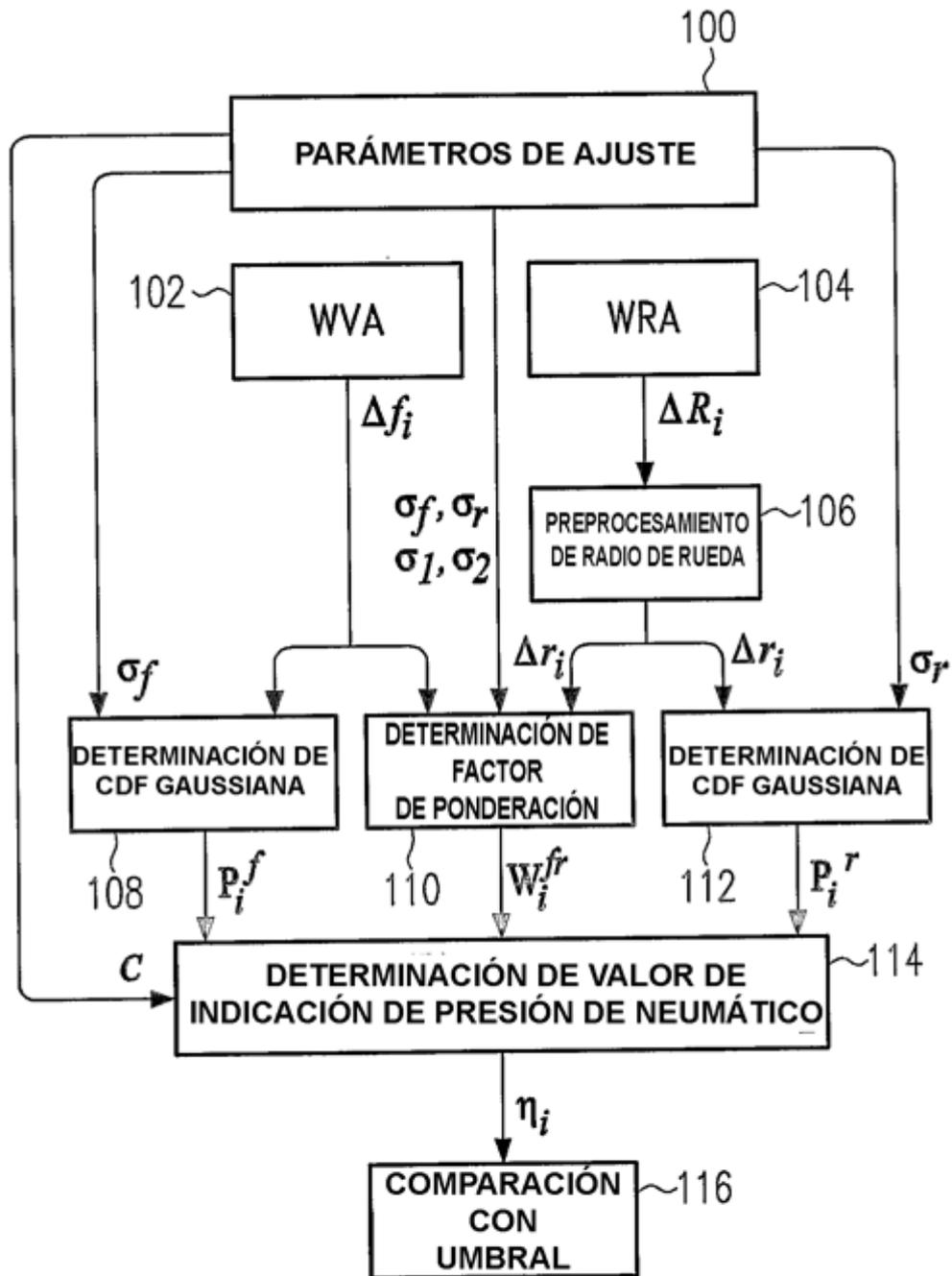


Fig.1

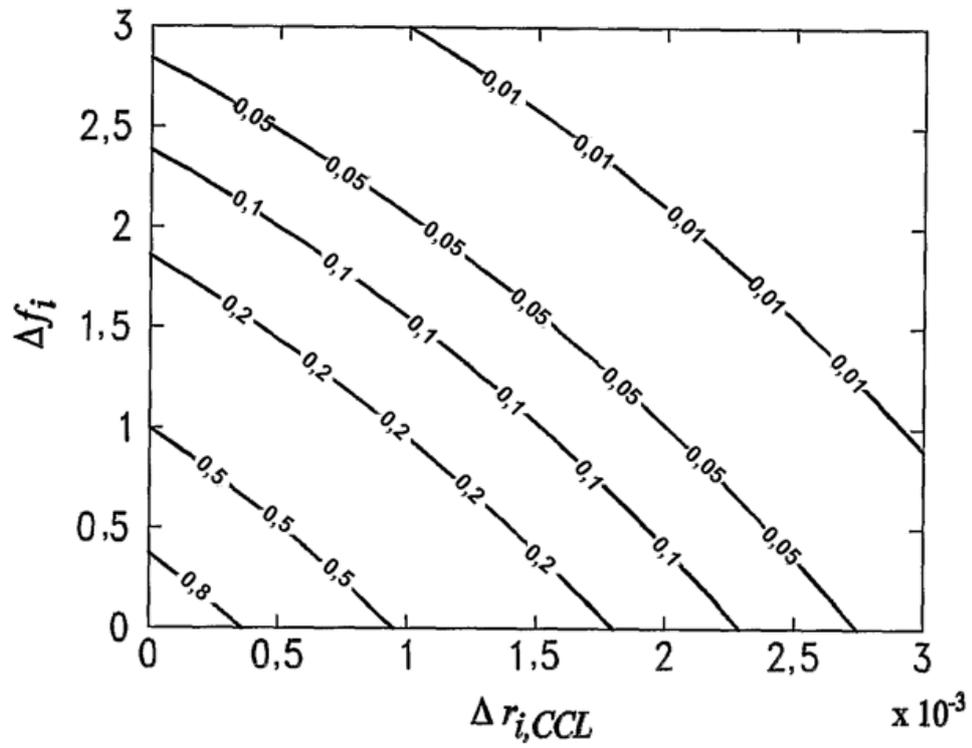


Fig.2A

(a) $\sigma_r = 1.4e-3$, $\sigma_f = 1.45$, $\sigma_l = 0$, $\sigma_2 = 0.4$, $C = 4$.

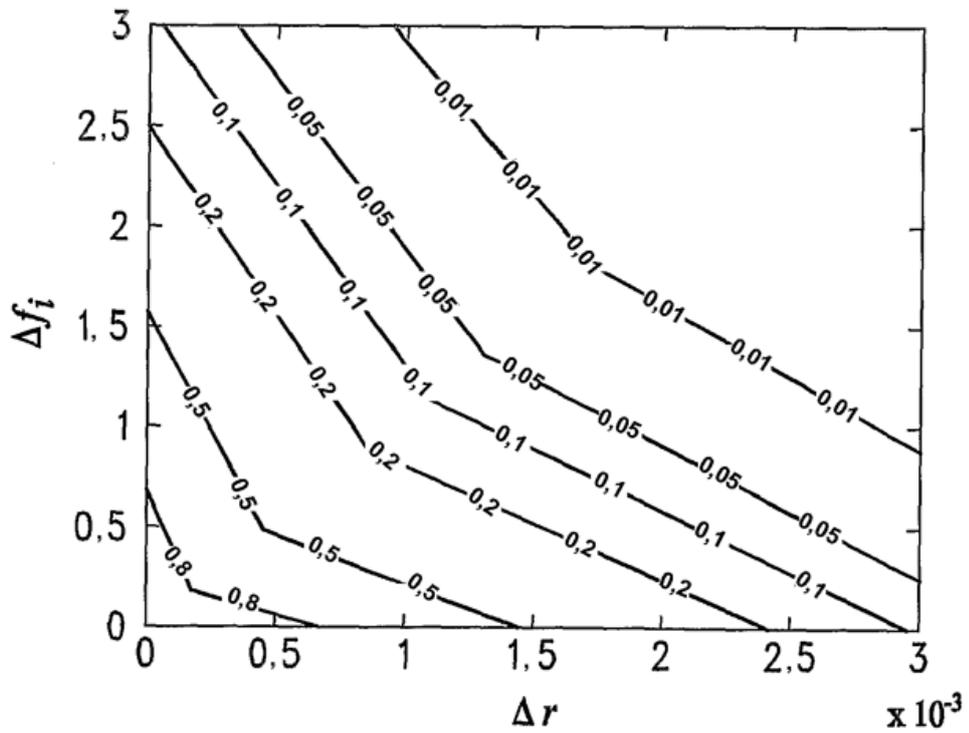
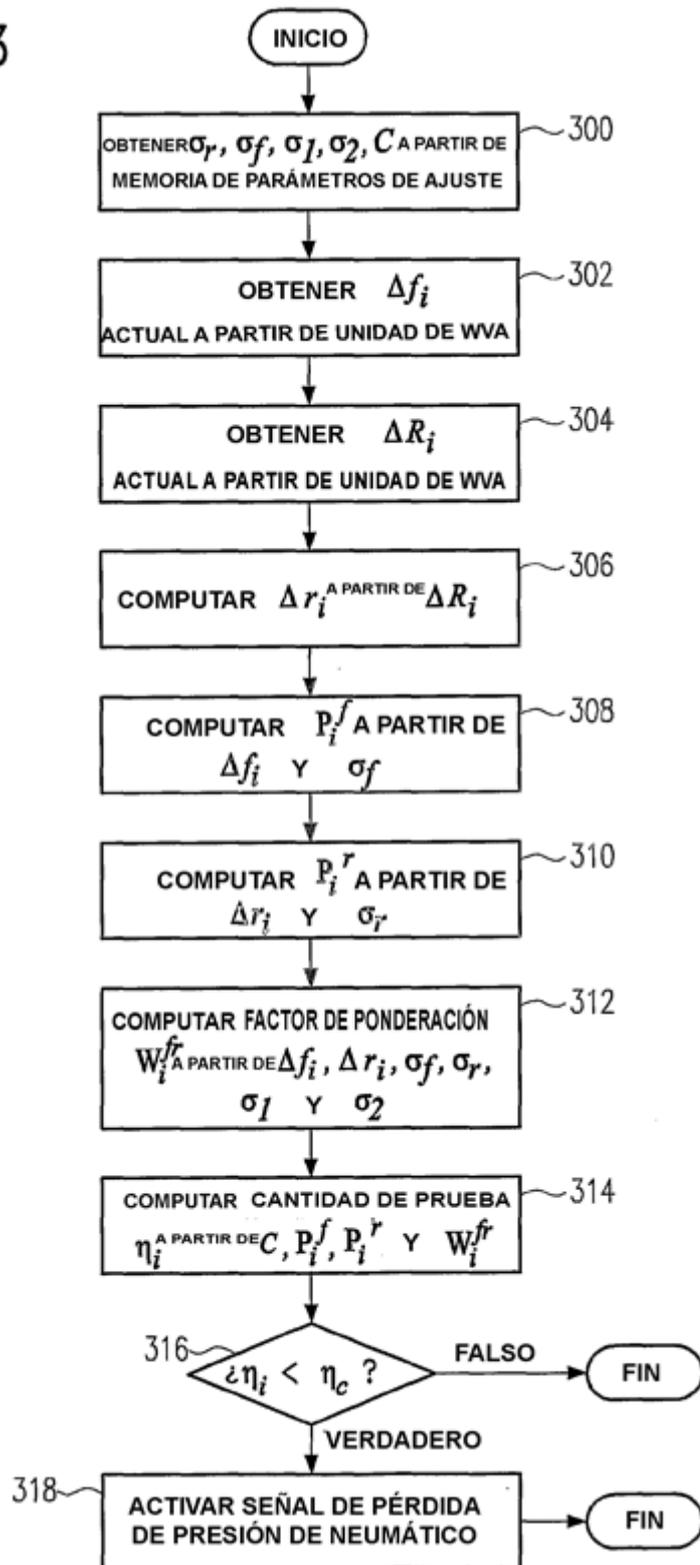


Fig.2B

(b) $\sigma_r = 1.4e-3$, $\sigma_f = 1.45$, $\sigma_l = 0.5$, $\sigma_2 = 1$, $C = 4$.

Fig.3



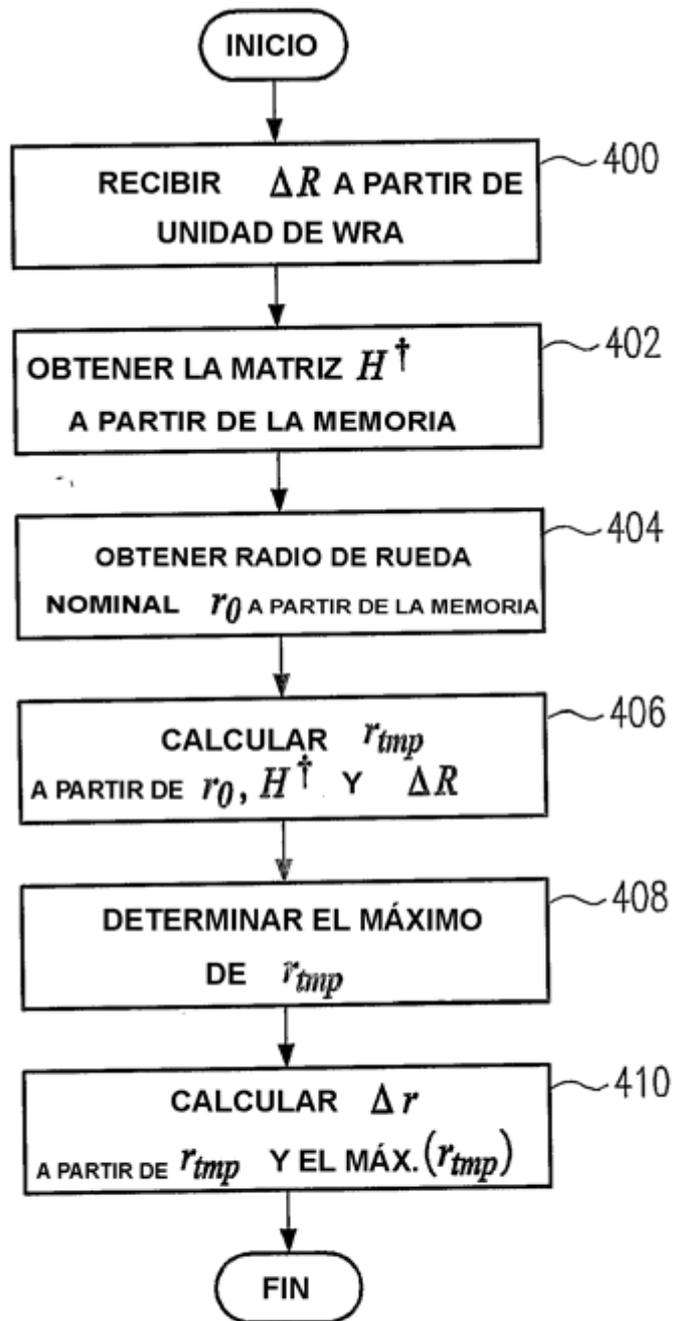


Fig.4

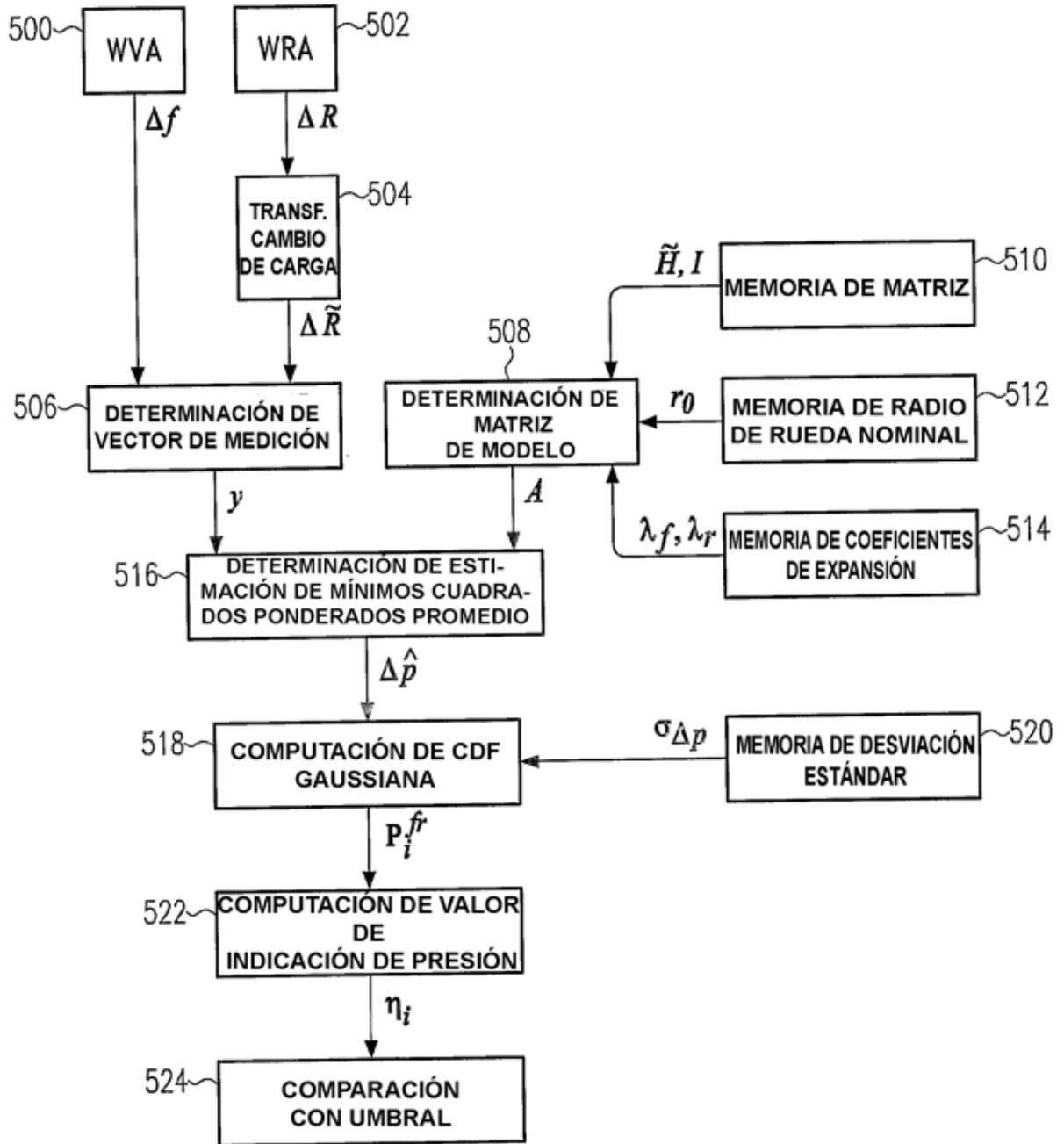


Fig.5

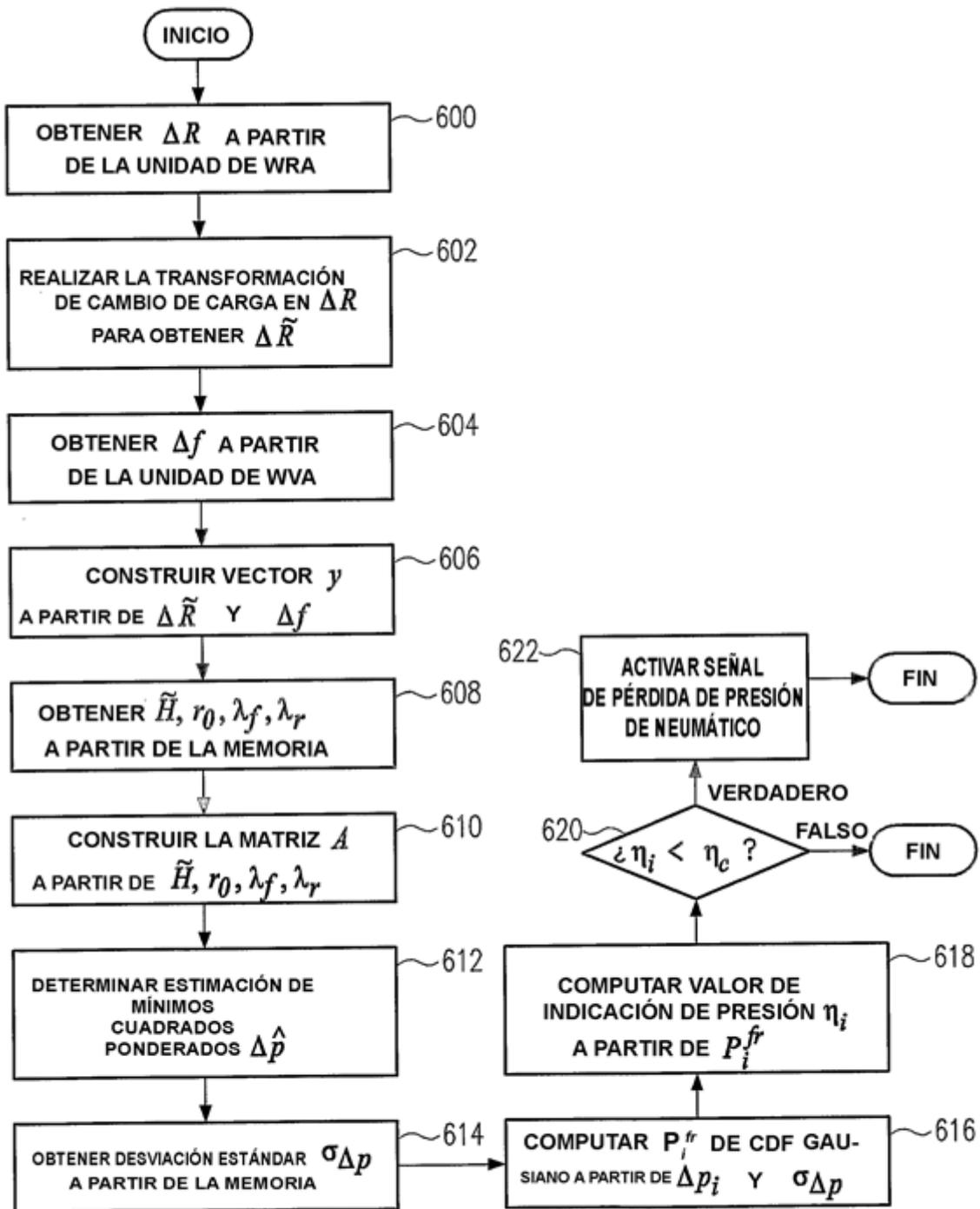


Fig.6

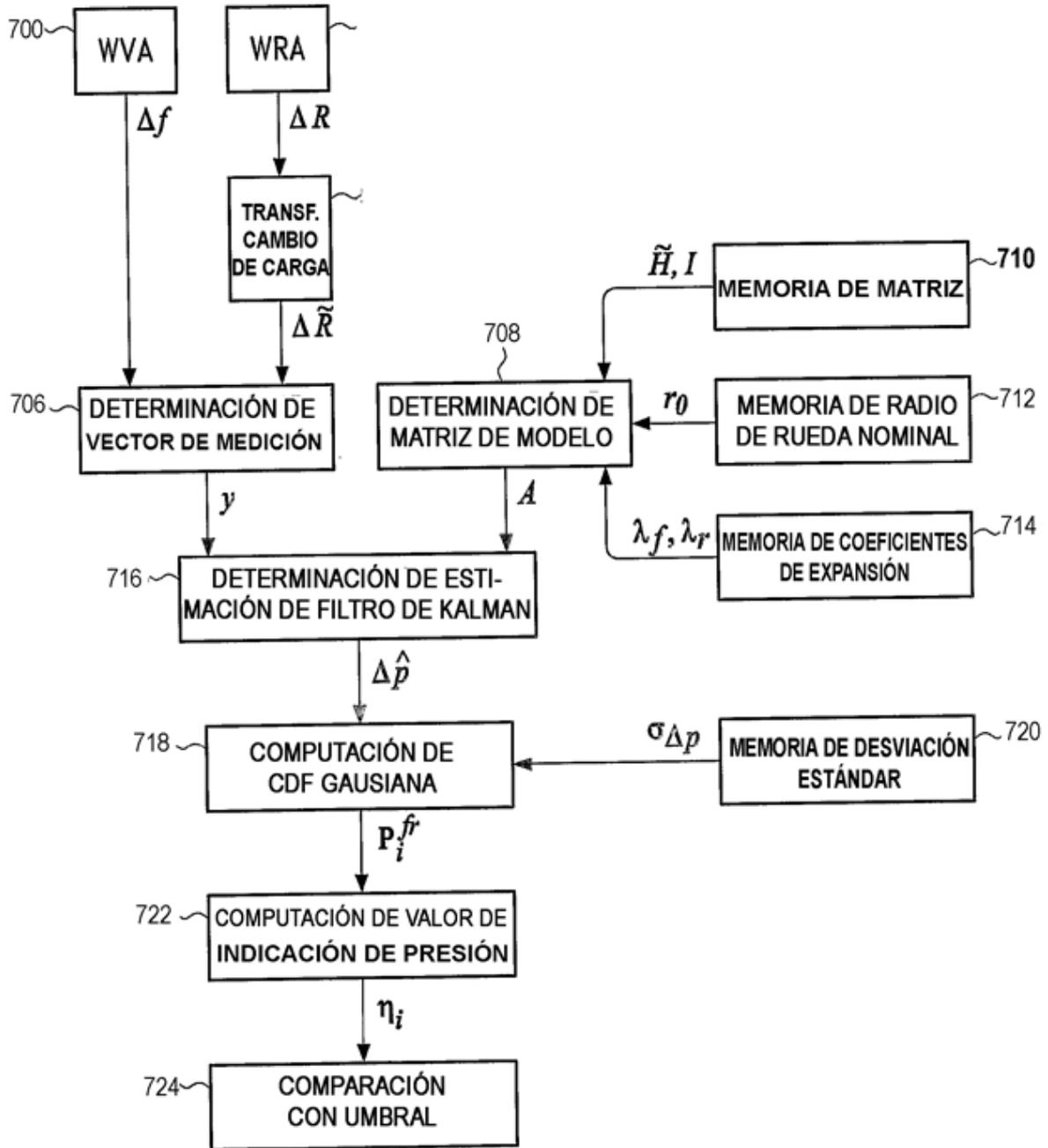


Fig.7

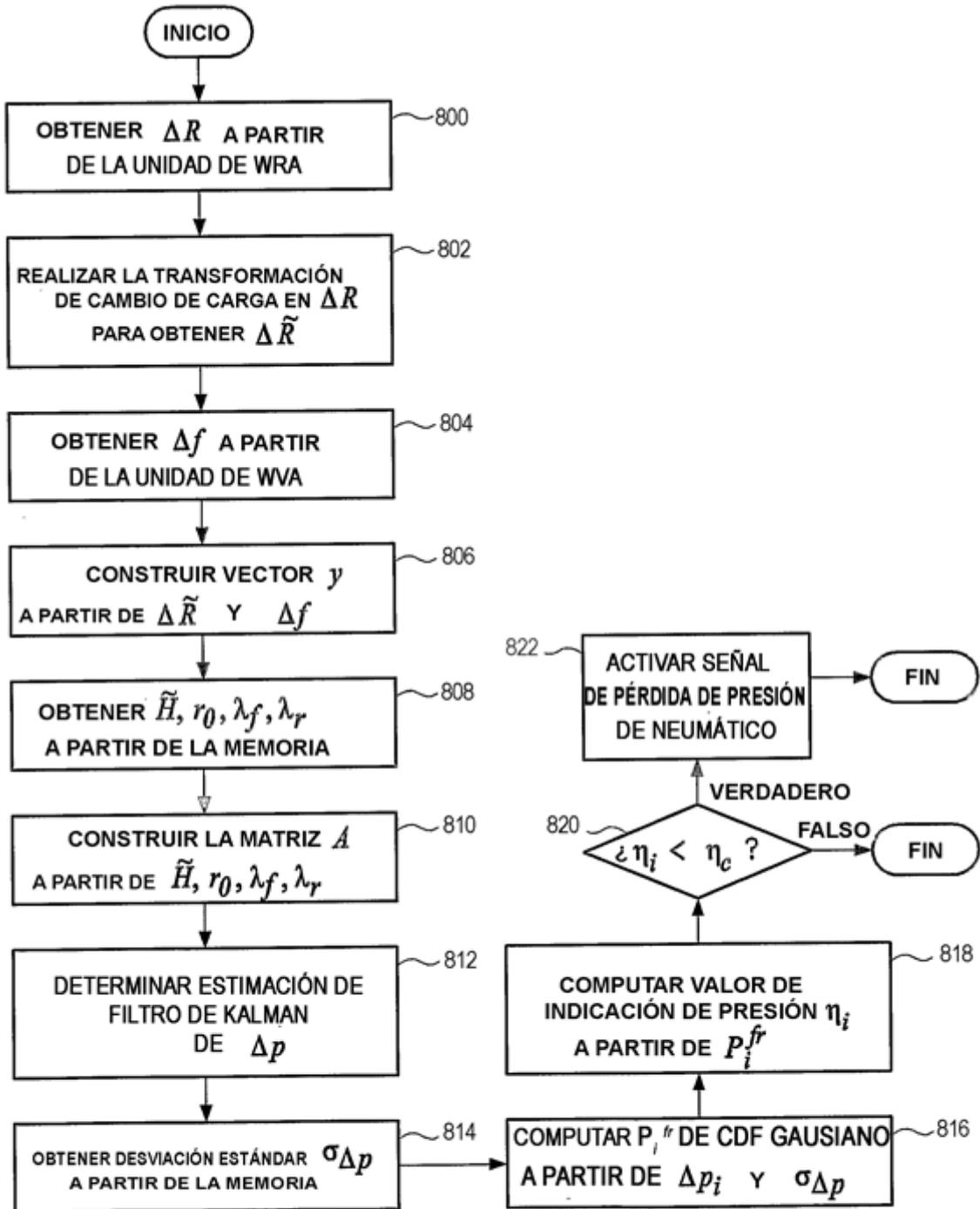


Fig.8

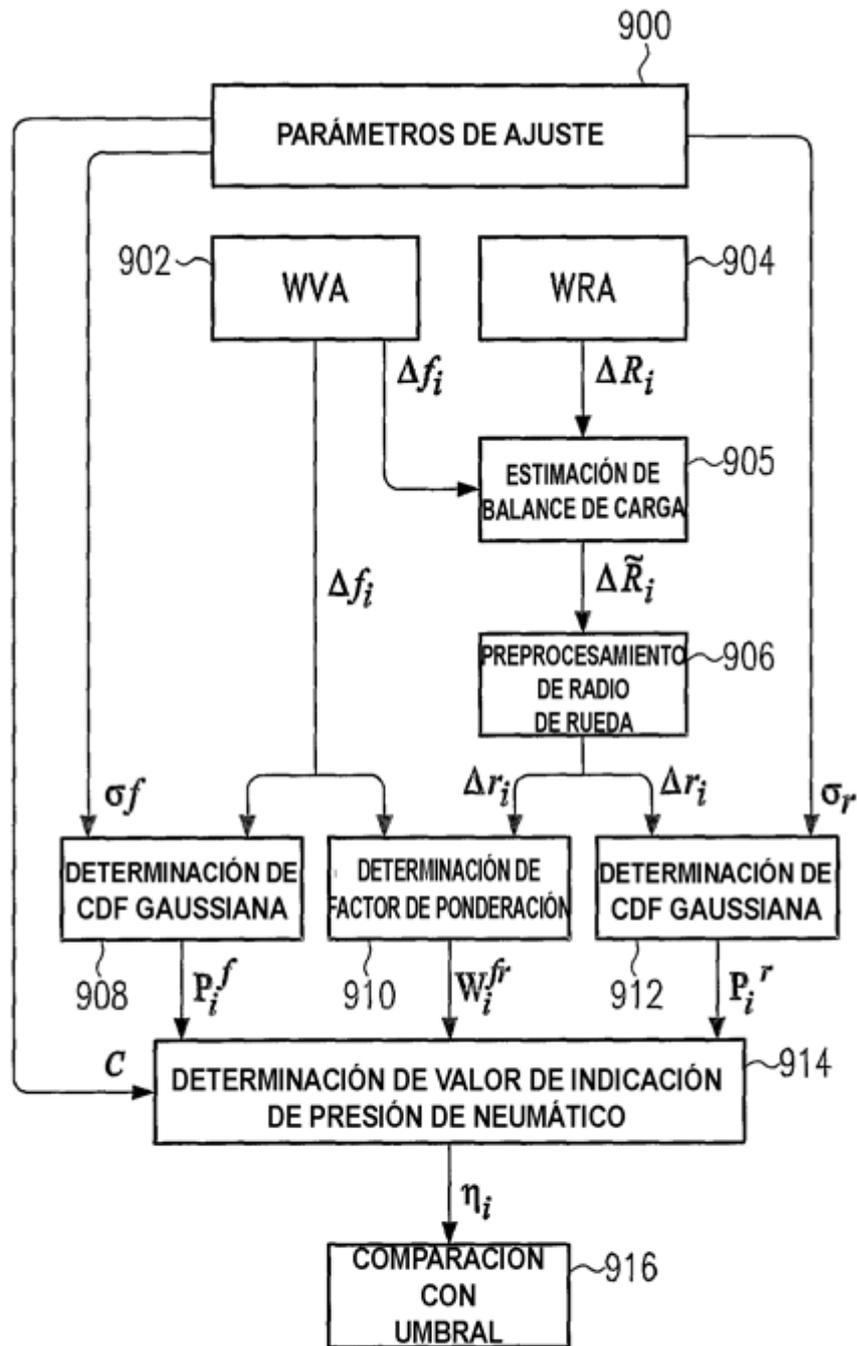


Fig.9

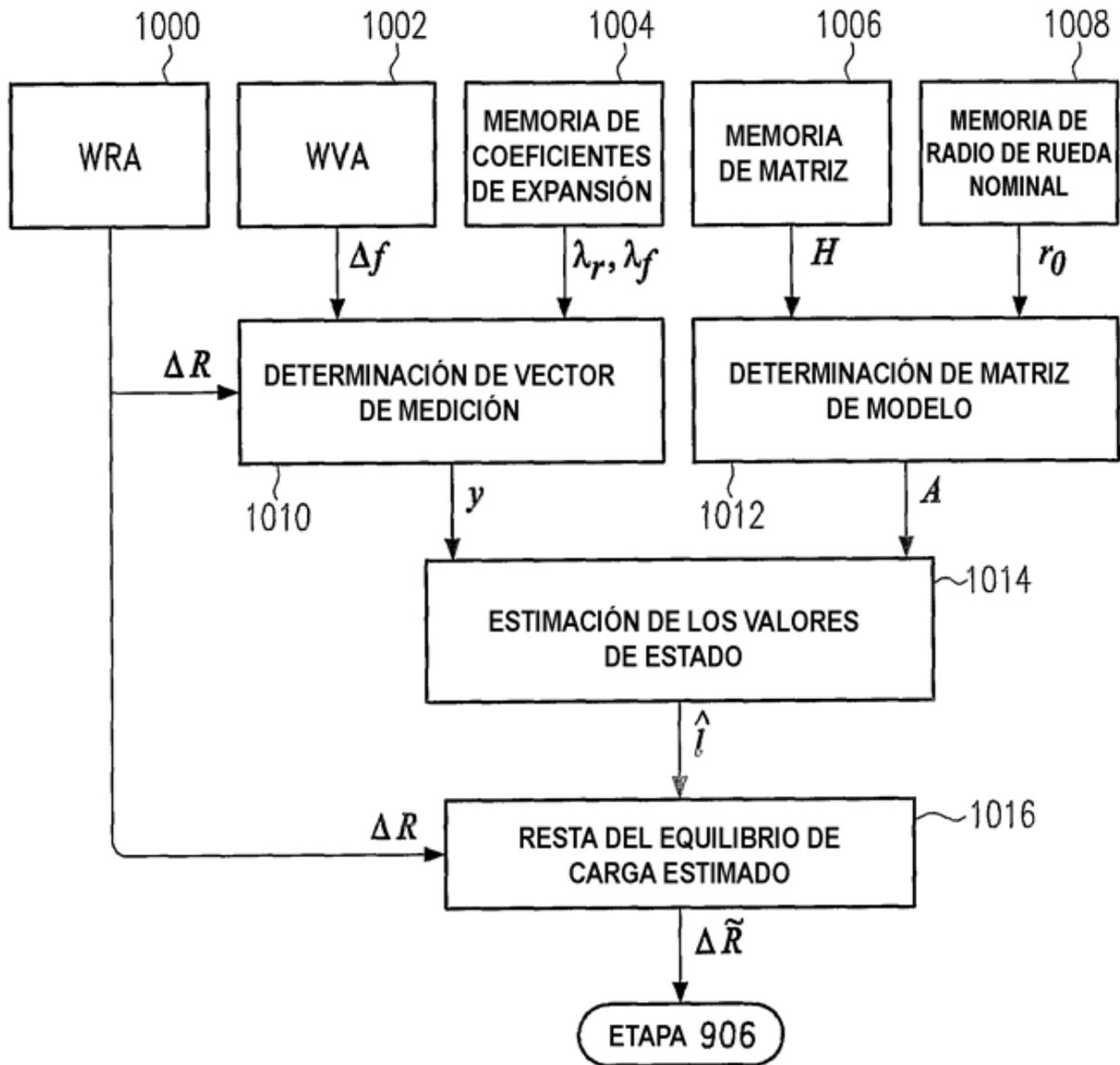


Fig.10

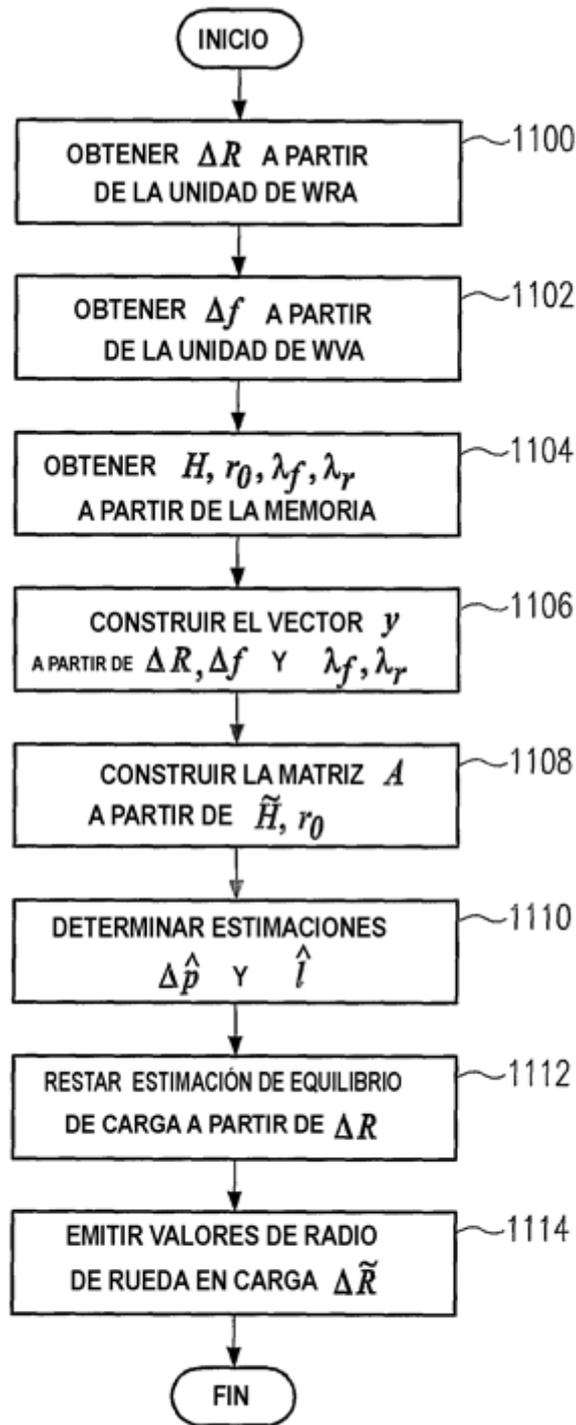
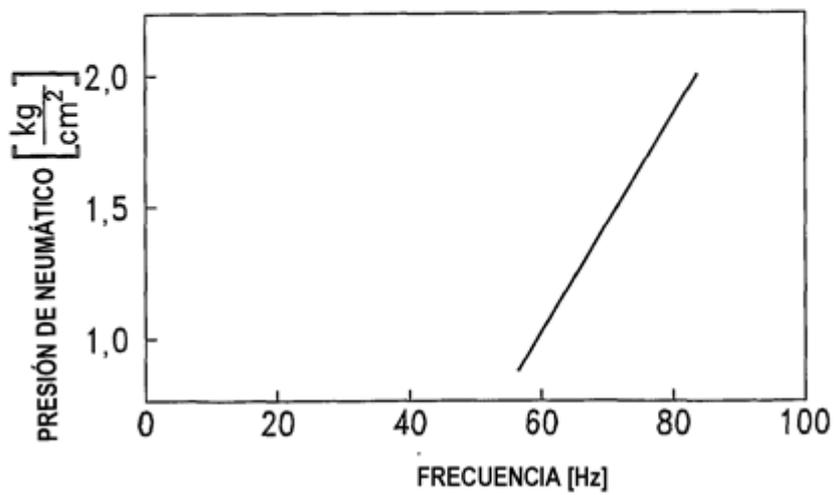
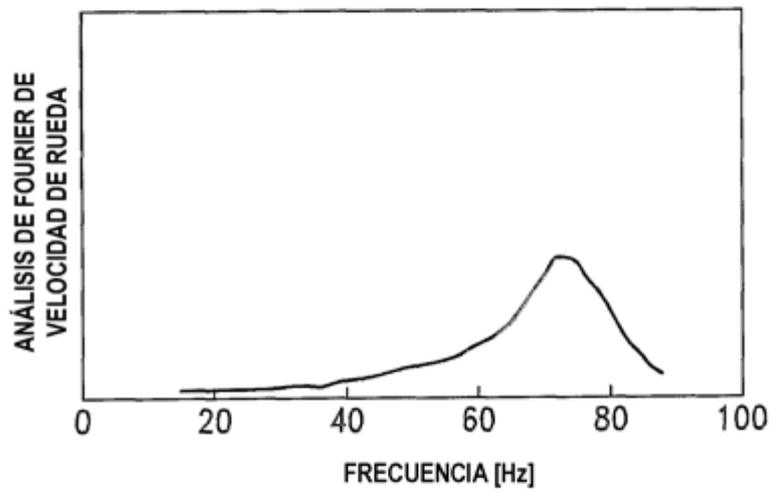
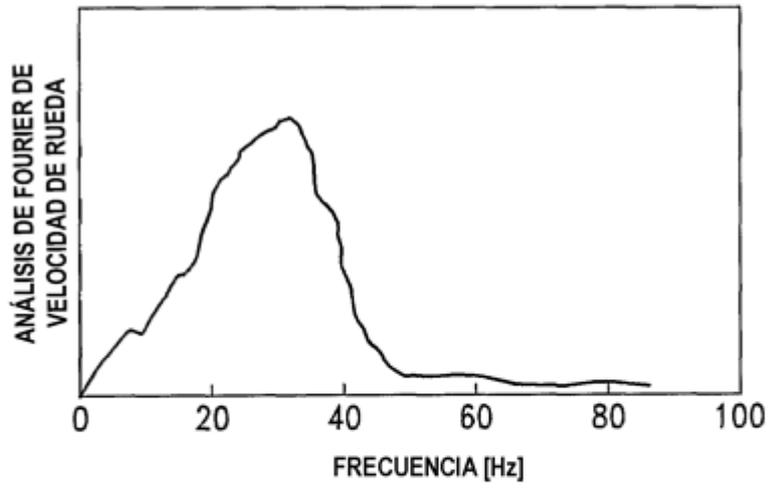


Fig.11



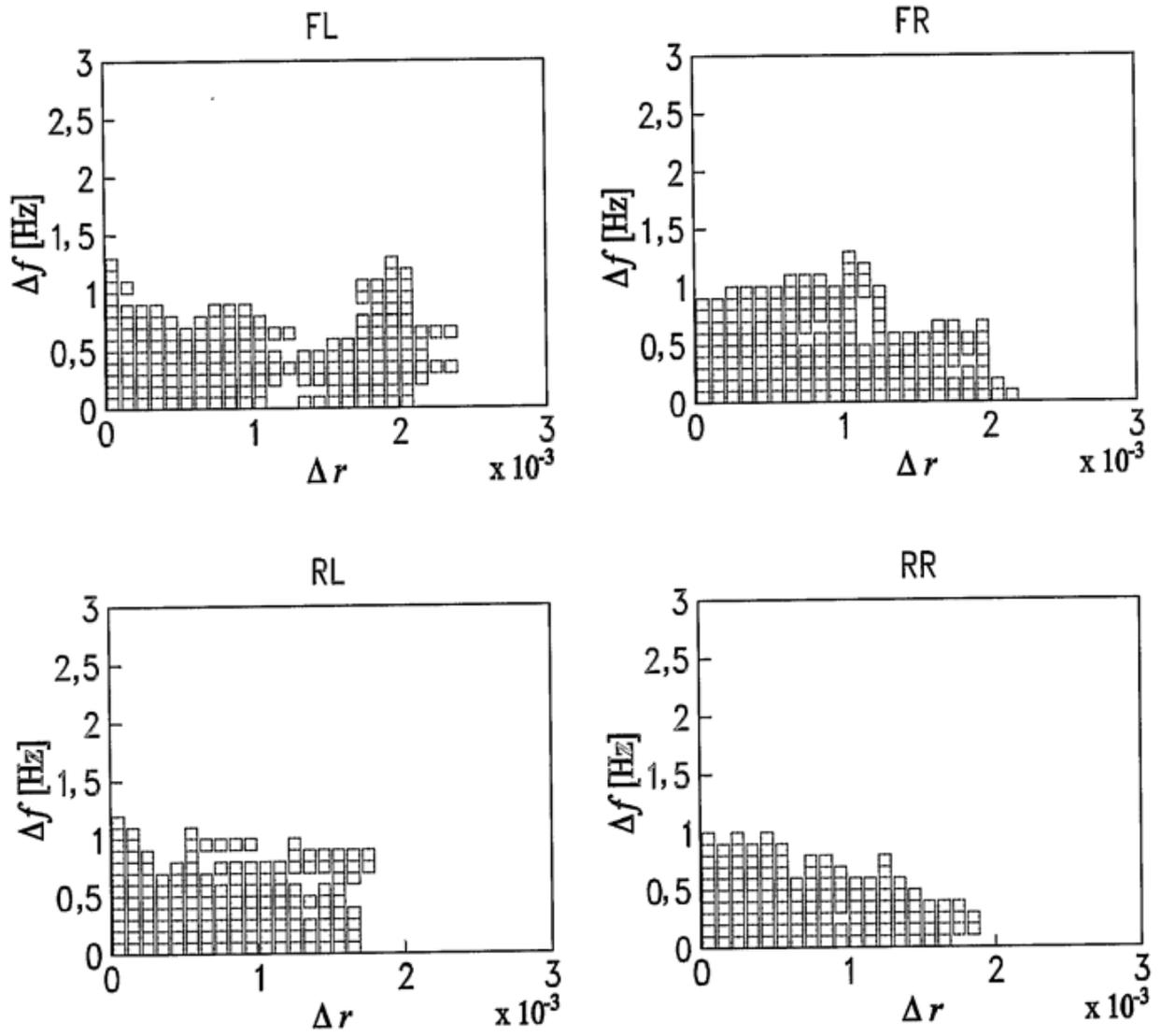


Fig.14