

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 803 898**

51 Int. Cl.:

**B60T 17/22** (2006.01)

**F16D 66/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.04.2017 PCT/EP2017/059238**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **01.02.2018 WO18019438**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.04.2017 E 17719225 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 3472012**

54 Título: **Dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco**

30 Prioridad:

**25.07.2016 IT 201600077944**

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

**01.02.2021**

73 Titular/es:

**ITT ITALIA S.R.L. (100.0%)  
Corso Europa 41/43  
20020 Lainate (MI), IT**

72 Inventor/es:

**SOLARI, MATTIA y  
TERRANOVA, MARCO**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

ES 2 803 898 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**

Dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco

5 Como se conoce, el torque de frenado residual es el torque de frenado de valores muy limitados que se encuentran en un vehículo como resultado de la interacción accidental entre la placa de freno y el disco cuando el vehículo no se frena.

10 Esta condición es realmente muy común y se debe al mal funcionamiento de la pinza de freno que después del frenado, mantiene el contacto residual entre el disco y la placa.

15 La persistencia de este estado de contacto, aunque es pequeña, mantiene un grado casi constante de torque de frenado residual que, durante largos períodos de tiempo, influye considerablemente en el consumo de combustible y en el desgaste de la placa de freno.

Las nuevas regulaciones de la normativa UE6 715/2007/EC sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> establecen límites más rigurosos respecto a las emisiones en sí mismas, lo que obliga a los fabricantes de vehículos de motor a no desprenderse de soluciones innovadoras que se destinen a reducir las emisiones.

20 Dentro de este escenario, controlar cualquier pérdida de rendimiento con respecto al sistema de frenado y la capacidad de limitar e impedir los aumentos en el torque de frenado residual, asume una importancia creciente, a fin de reducir el consumo, y consecuentemente las emisiones de los vehículos.

25 Hasta la fecha, no está disponible un sistema o método para medir el torque de frenado residual a bordo, y en tiempo real. Este tipo de medición puede realizarse usualmente en un banco de prueba de dinamómetro de laboratorio, normalmente usado para probar y evaluar el torque de frenado residual durante el desarrollo de un sistema de frenado.

Los sistemas automotrices equivalentes a bordo no están disponibles debido al costo y el tamaño.

30 Para aplicaciones de vehículos pesados están disponibles sensores comerciales para medir el espacio en la pinza.

Dichos sensores, sin embargo, sólo pueden medir el espacio total dentro de toda la pinza, que es la suma del espacio de las dos placas de freno, y su distancia desde el disco.

35 Estos sensores conocidos, que están disponibles solamente para aplicaciones basadas en camiones, no pueden de hecho distinguir entre las dos placas de freno; ellos sólo miden las distancias geométricas y no realizan una medición real de la resistencia a la corrida residual. El documento KR20070027041 A1 describe un dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

40 La tarea que propone la presente invención es la de superar las limitaciones anteriores como se reclama en la técnica anterior.

45 Como parte de esta tarea, un propósito de la invención es diseñar un dispositivo y un método que permitirá la medición real del torque de frenado residual en un vehículo debido a la interacción no deseada entre la placa de freno y el disco, correspondiente a cada placa de cada freno.

50 Un objetivo adicional de la invención es el de diseñar un dispositivo y un método que permitirá la medición en tiempo real del torque de frenado residual.

Un objetivo adicional de la invención es el de diseñar un dispositivo y un método que permitirá la medición real del torque de frenado residual con un nivel de sensibilidad comparable a la de la prueba de dinamómetro.

55 Un objetivo adicional de la invención es el de diseñar un dispositivo y un método que permitirá la medición real del torque de frenado residual para permitir la detección del espacio mínimo entre las placas de freno y el disco de freno lo que conduce a un retardo de frenado reducido.

60 Un objetivo adicional de la invención es el de diseñar un dispositivo y un método que permitirá la medición real del torque de frenado residual, mediante el uso de medios compatibles con las instalaciones y aplicaciones a bordo. Un objetivo adicional de la invención es el de diseñar un dispositivo y un método que permitirá la medición real del torque de frenado residual, mediante el uso de medios compatibles con aquellas instalaciones y aplicaciones a bordo que se conectan por medio de conexión a medios remotos de registro y procesamiento.

65 Esta tarea así como también estos y otros objetivos se logran mediante un dispositivo para la detección del torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco, que incluyen, para cada rueda del vehículo, al menos un sensor piezocerámico que se integra en el soporte de material de fricción de una unidad de freno, caracterizado

porque dicho sensor piezocerámico se conecta, por medio de un circuito electrónico, a al menos una unidad de control electrónico que se dedica para adquirir y gestionar, mediante el uso de medios de gestión, las señales que se detectan por dicho sensor piezocerámico directamente de dicho material de fricción de la unidad de freno, dicho medio de gestión de señal incluye al menos un indicador de torque residual que interactúa por medio de al menos una interfaz de comunicación con al menos un ordenador a bordo del vehículo sobre al menos un BUS de comunicación dedicado a bordo del vehículo.

Un objetivo adicional de la presente invención también será un método para detectar el torque de frenado residual de un vehículo por medio de un dispositivo que comprende al menos un sensor piezocerámico para cada rueda del vehículo que se integra en el soporte de material de fricción de una unidad de freno que se conecta por medio de un circuito eléctrico con al menos una unidad de control electrónico que se dedica a la adquisición y gestión, mediante el uso de medios de gestión de las señales que se detectan por el sensor piezocerámico directamente por el material de fricción de la unidad de freno, caracterizado porque los medios de gestión de las señales permiten una actualización constante en tiempo real de las mediciones del torque de frenado residual.

Las características adicionales de la presente invención también se definen en las reivindicaciones subordinadas.

Otras características y beneficios de la invención serán más evidentes a partir de la descripción de una modalidad preferente pero no exclusiva de un dispositivo y un método para detectar el torque de frenado residual de un vehículo, que se ilustra por medio de un ejemplo no limitante en los dibujos adjuntos, de los cuales:

la Figura 1 representa la disposición genérica de un sistema de frenado para vehículos con un sistema ABS;

la Figura 2 representa la disposición de una placa de freno con sensores inteligentes;

la Figura 3 representa un diagrama funcional de una unidad de control electrónico;

la Figura 4 muestra la variación en la amplitud de una señal después del frenado con varios grados de torque de frenado;

la Figura 5 muestra la variación en el indicador de frenado residual como una función de la frecuencia;

la Figura 6a muestra el desarrollo del algoritmo de frenado en función del tiempo;

la Figura 6b representa una curva de calibración típica;

la Figura 7 representa las curvas de calibración que se obtienen por el sensor de cizallamiento solamente y con otros sensores;

la Figura 8 muestra desviaciones en valores medidos con sensores de cizallamiento solamente y con otros sensores;

la Figura 9 ilustra las diferencias entre los valores de frenado residual medidos en el banco y los valores obtenidos de las curvas de calibración para varios pares de placas;

la Figura 10 ilustra valores de frenado residual experimentales tanto antes como después de la aplicación de frenado a un coche de pasajeros;

la Figura 11 ilustra valores de frenado residual experimentales en función del tiempo con un coche de pasajeros.

Con referencia a las figuras anteriores, el dispositivo y el método para detectar el torque de frenado residual de un vehículo, que se indica genéricamente con 1, comprenden al menos un cilindro maestro de frenos 4, y una bomba de presión 5 ya sea para aceite hidráulico o aire, ya sea un sistema hidráulico o sistema basado en aire neumático para la distribución de la presión de frenado.

Preferentemente, pero de manera no limitante, se hará referencia a un vehículo de motor equipado con un sistema de frenado (que tiene normalmente un sistema ABS integrado) y por lo tanto con al menos una unidad de control 2 para la gestión del sistema ABS, posiblemente integrado con los sistemas ASR y ESP. Un sistema de frenado con ABS tiene normalmente válvulas de solenoide, distribuidores y líneas de aire o aceite, ruedas fónicas 50 y sensores de tacómetro 51 en cada rueda 9 del vehículo equipado con ABS.

A continuación, se considerará la aplicación de la invención a un vehículo de motor que se equipa con un sistema de frenado ABS ya que las mismas características y declaraciones también son aplicables a un sistema ABS/ASR/ESP.

Además, en lo sucesivo, se hará referencia a un vehículo de motor que se equipa con frenos de disco y ABS, aunque lo que se indicará será aplicable a cualquier tipo de vehículo equipado con frenos de disco, con o sin ABS, tales como camiones, remolques, volquetas, grúas, motocicletas e incluso aviones.

En particular, se hará referencia a un sistema de frenado de vehículos de motor que se equipa con frenos de disco 8, equipado ventajosamente con placas de freno 7 equipadas con sensores inteligentes 16 para detectar los datos de torque de frenado residual.

Cada placa de freno 7 comprende un soporte en forma de placa posterior 21 ("placa posterior"), un bloque de material de fricción 12 soportado por el soporte 21, y uno o más sensores piezocerámicos eléctricos 16 soportados por el soporte 21 e interpuesto entre el último y el bloque de material de fricción 12.

El soporte 21 soporta un circuito eléctrico aislado eléctricamente 11, 15 que tiene contactos eléctricos a los cuales los electrodos de los sensores piezocerámicos inteligentes 16 se conectan junto con los electrodos de al menos un sensor de temperatura 13 el cual se proporciona preferentemente.

- 5 El circuito eléctrico 11, 15 se produce preferentemente mediante el uso de la serigrafía en pantalla sobre el soporte 21 y es resistente a altas temperaturas (al menos 200 °C, preferentemente 350 °C para coches de pasajeros, o al menos 400 °C, preferentemente 600 °C para vehículos de bienes pesados).
- 10 Los sensores 13, 16 se fijan al soporte 21 en posiciones específicas en el circuito eléctrico 11, 15 y se sueldan o pegan mediante el uso de goma conductora en dichas posiciones.
- 15 El circuito eléctrico 11, 15 conecta un conector eléctrico 14 a los sensores piezocerámicos 16, que son sensores de fuerza de cizallamiento, y a cada sensor de temperatura 13.
- 20 El conector 14 recoge todas las señales provenientes de los sensores 16, 13 y permite que los sistemas electrónicos externos se conecten a la placa de freno 7.
- 25 Además de esto, para garantizar las propiedades de aislamiento eléctrico y protección mecánica, junto con la transmisión de fuerza óptima, una tapa protectora se posiciona al menos sobre los sensores 16 y sobre cualquier parte conductora del circuito eléctrico 11, 15.
- 30 Esto se logra por medio de "tapas" especiales hechas de materiales aislantes de resina o cerámica.
- 35 También puede proporcionarse una capa de amortiguación interpuesta entre el bloque de material de fricción 12 y el soporte 21.
- 40 En particular, con respecto a los sensores que se integran en la placa inteligente para aplicaciones de torque residual, la configuración mínima presentará al menos un sensor de cizallamiento piezocerámico 16 para altas temperaturas (al menos > 200 °C, el punto de Curie y, preferentemente con una temperatura de operación > 300 °C, y al menos un sensor de temperatura 13 preferentemente con una temperatura de operación > 300 °C.
- 45 El sensor de cizallamiento 16 debe posicionarse preferentemente dentro del centro de presión de la placa de freno 7, que puede cuantificarse con una aproximación razonable en base al tamaño y la forma geométrica del mismo, junto con su distribución de masa.
- 50 El sensor de temperatura 13 debe posicionarse, preferentemente, lo más cerca posible del sensor de cizallamiento 16.
- 55 El sensor de temperatura 13 se usa, principalmente, con fines de compensación.
- 60 En la Figura 2, el cuadrado representa el sensor de cizallamiento 16 y la flecha indica la dirección de polarización que se dirige a lo largo de las fuerzas tangenciales que se aplican a la placa de freno durante el frenado, cuyas fuerzas se unen directamente a las mediciones del torque de frenado.
- 65 El rectángulo negro representa en cambio el sensor de temperatura 13, mientras que el rectángulo gris horizontal representa el conector 14.
- Es claro que la modalidad que se muestra en la Figura 2 es sólo una de las formas posibles de la modalidad.
- Las posiciones y las posiciones relativas de los sensores pueden modificarse y pueden añadirse otros sensores auxiliares: por ejemplo, pueden colocarse cuatro (o incluso solo dos) sensores de "presión" piezocerámico cerca de las esquinas del rectángulo 21 que representan la placa posterior para medir la tensión axial que se transmite por el pistón de la pinza 22 durante el frenado.
- Los sensores de presión pueden usarse en lugar de sensores de cizallamiento, aunque la configuración preferente presentará sensores de cizallamiento.
- Adicionalmente, para producir más información que con un único sensor de fuerza de cizallamiento, pueden usarse sensores biaxiales o biaxiales piezocerámicos (no ilustrados).
- Estos sensores adicionales solo tienen una función auxiliar ya que pueden usarse para optimizar la distribución de la presión o para determinar el coeficiente de fricción de la placa de disco para maximizar la eficiencia de frenado, pero al mismo tiempo pueden usarse para construir un indicador para medir el torque residual.
- La Figura 1 muestra un diagrama de un dispositivo y un método de acuerdo con la invención, que permite la medición real del torque de frenado residual en un vehículo debido a la interacción no deseada entre la placa de freno 7 y el disco 8, en cada placa de la pinza de freno 22.

Los elementos básicos de esta arquitectura innovadora, que se implementan preferentemente y ventajosamente en un vehículo de motor equipado con un sistema de freno de disco, son sustancialmente pero no exclusivamente:

i. placas de freno 7 como se describió anteriormente con al menos un sensor de cizallamiento piezocerámico 16 para detectar el torque de frenado, y al menos una placa de este tipo por rueda, pero preferentemente dos.

ii. al menos una unidad de control electrónico 60 que se dedica a la adquisición y gestión de las señales de torque de frenado residual desde los sensores 16 de la placa inteligente 7 y que incluirá todos los algoritmos necesarios para la evaluación real del torque de frenado residual.

iii. al menos una interfaz de comunicación para conectarse a servicios a bordo del vehículos 61, que incluirán todos los sistemas de comunicación (incluidos sus protocolos) con el fin de permitir el intercambio de información con respecto al torque de frenado residual con al menos un ordenador a bordo del vehículo 62 por medio de un sistema de comunicación dedicado.

La unidad de control electrónico de torque residual 60, en la modalidad preferida, la Figura 3 integrará ambos sensores 16 de una placa de freno 7 de cualquier rueda 9 proporcionada con sensores de temperatura y piezocerámicos y un sistema de comunicación 63.

Generalmente, las señales de ocho placas de freno 7 se detectarán típicamente, es decir de los sensores integrados en dichas placas de freno (dos placas por pinza de freno), junto con las señales provenientes de sensores auxiliares, típicamente sensores de temperatura, integrados en la placa inteligente o directamente instalados sobre las pinzas.

Estos sensores se digitalizarán mediante el uso de un convertidor A/D y las señales se procesarán por medio de algoritmos, para calcular el torque de frenado residual, que se instala en la unidad de control electrónico 60, cuya unidad hospedará un microprocesador 64 para la ejecución de tales algoritmos con el fin de transformar los datos primarios que se detectan de las señales provenientes de las placas inteligentes 7 en información en tiempo real con respecto al torque de frenado residual.

Una vez que esté disponible esta información, se enviará a la red de comunicación del vehículo de motor con el propósito de mostrarla o para activar una alarma, por ejemplo, en el panel del coche.

Alternativamente o en paralelo, esta información también puede enviarse a los operadores de una red remota de servicio mediante el uso de medios de transmisión de datos de largo alcance tales como, por ejemplo, módulos M2M o tecnologías equivalentes.

Otro canal de comunicación importante tomará la forma de la interacción/comunicación en tiempo real directo con la pinza de freno 22 (pinza ajustada con placas inteligentes 7) que serían particularmente relevantes para las pinzas inteligentes activas, es decir, equipadas con sus propios medios de accionamiento (no se muestran) que permiten la retracción activa de la pinza en base a las mediciones directas hechas por los sensores de torque residual de la placa de freno inteligente después del frenado para minimizar el torque de frenado residual en sí mismo.

Los torques de frenado residual a los que se somete típicamente una pinza de freno usualmente caen dentro del intervalo de entre 0,5 y 30 Nm. Los torques de frenado de operaciones normales están en cambio usualmente entre 30 y 4000 Nm.

A partir de esta consideración básica, debido a la relación de señal a ruido que evitaría la lectura de valores de torque excepcionalmente bajos, es claro que con un solo tipo de sensor conocido es imposible cubrir un intervalo tan amplio.

Por otra parte, un sistema optimizado para medir el intervalo bajo podría verse potencialmente comprometido por la lectura del intervalo de torque alto, lo que podría conducir a problemas de confiabilidad graves.

Una característica de la invención es en su lugar un método para determinar el torque de frenado residual que usan los mismos sensores que se han optimizado para el intervalo de torque de frenado típico (de 30 a 4000 Nm), aumentando su capacidad de medición hasta el intervalo típico para mediciones de torque residual (de 0,5 a 30 Nm).

El método se caracteriza por una técnica de identificación, específicamente mediante la creación de un indicador de torque de frenado residual que mide el torque de frenado residual asociado funcionalmente con el torque de frenado residual real.

Este indicador de torque residual no mide directamente el torque residual sino aquellas cantidades que pueden asociarse con la presencia del torque de frenado residual y con su intensidad.

El método descrito en la presente invención se ha probado experimentalmente que es muy sensible y es capaz de extender el intervalo de medición hasta los valores de torque de frenado residual típicos más bajos, mientras que al mismo tiempo se mantienen los mismos sensores eficientes para medir el torque de frenado operacional.

El método de la invención se ha desarrollado para análisis de frecuencia y dominio de tiempo. El método de la invención con base en la frecuencia se refiere a la creación del indicador de torque de frenado residual y el

procedimiento de calibración para tal indicador para proporcionar, en términos cuantitativos, el torque de frenado residual que comienza desde el espectro de frecuencias de las señales que vienen desde los sensores piezocerámicos que se instalan en la placa inteligente.

5 El enfoque usado por la presente invención se usa para crear un indicador de torque de frenado residual que no está asociado sin embargo con los valores reales del torque de frenado residual, en lugar de medir directamente tales valores.

10 La idea fundamental se deriva de la observación de que cada vez hay un torque de frenado residual medible, una estructura de pico específica que aparece dentro del espectro de frecuencias de las señales  $V(\omega)$ , que se asocian con la velocidad de rotación angular de las ruedas, como se proporciona por sensores piezocerámicos que se instalan en la placa inteligente.

15 La Figura 4 muestra un espectro típico de frecuencia de la señal  $V(\omega)$ , en tres condiciones diferentes de frenado operacional, para la misma velocidad de rotación angular de la rueda y con el aumento de los valores de torque de frenado residual.

20 A partir de esta figura la presencia de picos en la amplitud de la señal correspondiente a las mismas frecuencias en las tres condiciones diferentes de frenado es evidente, esto junto con un aumento en la amplitud de los picos correspondientes a los valores crecientes asociados con las condiciones de frenado operacional.

Para crear un indicador de torque de frenado residual, se considera una clase genérica de una función para la señal  $V(\omega)$ , que se muestra en la siguiente fórmula:

25

$$RD_I = \int_0^{\omega_C} \sum_{i=1}^N |V_i(\omega)|^\alpha - RD_I^0$$

30 En la cual  $RD_I$  es el indicador de torque de frenado residual,  $\omega_C$  es la frecuencia de corte de la señal,  $\alpha$  es una constante positiva,  $N$  es el número total de sensores piezocerámicos las dos placas de las pinzas y  $RD_I^0$  es la función integral de las señales como se informa en el primer elemento de la definición de  $RD_I$ , pero que se obtiene mediante la extracción manual de las placas en la pinza, es decir, es la contribución asociada con alteraciones electromagnéticas externas y cualquier contribución debido a vibraciones desde los cojinetes, el concentrador de rueda, etc., o, en otras palabras, la señal de ruido de fondo que no debe considerarse y que se sustrae del indicador.

35 La frecuencia de corte de la señal  $\omega_C$  puede elegirse arbitrariamente pero, por convención, fijarse por debajo de 50 Hz, para mantener las alteraciones de compatibilidad electromagnética tan bajas como sea posible (EMC), pero, al mismo tiempo, tan cercanas como sea posible a este valor para aumentar el intervalo de velocidad de rotación angular de la rueda a la cual puede aplicarse.

40 Convencionalmente y preferentemente, este valor se estableció en 45 Hz. Esto asegura una buena estabilidad del indicador hasta velocidades en el orden de 200 km/h.

En otra modalidad para  $RD_I$ ,  $\omega_C$  puede ser más alta que 50 Hz, particularmente si los componentes de frecuencia se encuentran a altas velocidades de vehículos.

45 En tal caso, un filtro pasa banda (hardware o software), sin embargo, debe ser usado a alrededor de 50 Hz para eliminar todas esas contribuciones de compatibilidad electromagnética (EMC) que pueden influir en el indicador de torque de frenado residual, y por lo tanto las mediciones. Finalmente y lo más importante es que un indicador completamente similar a los mostrados y descritos anteriormente se obtengan mediante el uso de una función genérica  $F(V(\omega))$  en condición de que se use una función monótona creciente  $F$ , con el objetivo de asegurar que las magnitudes indicadoras crecientes correspondan de manera similar a aumentar las cantidades de torque de frenado residual.

50 La Figura 5 muestra un ejemplo del indicador de torque de frenado residual como una función de la frecuencia de corte de la señal, y el valor correspondiente a un  $\omega_C = 45$  Hz se muestra como una línea recta discontinua vertical.

55 Otro método de la invención para la creación de un indicador de torque de frenado residual se basa en las señales del dominio de tiempo desde los sensores piezocerámicos que se instalan en la placa inteligente. Como con el caso descrito anteriormente, que se basa en la frecuencia, el enfoque usado en este segundo método consiste en crear un indicador de torque de frenado residual que mientras que no se mide directamente aún asociado con el torque de frenado residual.

60 Al continuar de manera similar al caso con base en la frecuencia, la función de frecuencia del dominio de tiempo se convierte en:

65

$$RD_I = \int_0^{\omega_C} \sum_{i=1}^N |V_i(\omega)|^2 = \int_0^{\infty} \sum_{i=1}^N |V'_i(\omega)|^2$$

donde  $V'_i(\omega) = V_i(\omega)K(\omega)$  con  $K(\omega)$  un filtro de frecuencia de señal con una frecuencia de corte en un  $\omega_c$ . Mediante el uso de las propiedades de la transformada de Fourier es fácil encontrar:

$$RD_I = \int_0^\infty \sum_{i=1}^N |V'_i(\omega)|^2 = \int_0^\infty \sum_{i=1}^N |V_i(t) \otimes K(t)|^2$$

donde  $\otimes$  es el símbolo de la circunvolución y las integrales son funciones de tiempo en lugar de la frecuencia.

Al generalizar, obtenemos la fórmula general:

$$RD_I = \int_0^T \sum_{i=1}^N |V_i(t) \otimes K(t)|^\alpha - RD_I^0$$

En la cual  $RD_I$  es el indicador de torque de frenado residual,  $T$  es un periodo de tiempo claramente más largo que los periodos de doblez típicos de las ruedas dentro de intervalos de velocidad de 5 a 200 km/h,  $\alpha$  es una constante positiva,  $N$  es el número total de sensores piezocerámicos de la pinza de frenos y  $RD_I^0$  es la función integral de las señales como se informa en el primer elemento de la definición de  $RD_I$ , pero obtenida mediante la extracción manual de las placas de freno de la pinza, es decir la contribución asociada con alteraciones electromagnéticas externas y cualquier contribución debido a vibraciones desde los cojinetes, el concentrador de rueda, etc., o, en otras palabras, la señal de ruido de fondo que no debe considerarse y que se sustrae del indicador.

En el caso discutido, el algoritmo de filtro de frecuencia de dominio de tiempo  $K(t)$  pueden calcularse fácilmente y convertirse en:

$$K(t) = 2i \frac{\text{sen}(\omega_c t)}{t}$$

en la que  $i$  es la constante imaginaria,  $\omega_c$  es la frecuencia de corte del filtro y  $t$  es el tiempo.

La Figura 6a muestra un gráfico del comportamiento de este algoritmo de filtro de frecuencia de dominio de tiempo  $K(t)$ .

Como evidencia de la prueba, el deterioro de  $K(t)$  con el tiempo ya es importante después de solamente 0,1 s y, por lo tanto, se eliminarán las fluctuaciones en señales de alta frecuencia (considerablemente mayor que la frecuencia de corte de la señal  $\omega_c$ ).

En este caso particular, el indicador  $RD_I$  tomará la forma:

$$RD_I = \int_0^T \sum_{i=1}^N \left| \int_t^{t+\tau} V_i(t') \frac{\text{sen}(\omega_c(t-t'))}{t-t'} \right|^\alpha - RD_I^0$$

en la que la circunvolución se aproxima con una integral finita en  $t'$  de las dos funciones que abarca un intervalo de tiempo  $\tau$ .

Si el intervalo de tiempo  $\tau$  es bastante grande en comparación con el deterioro con el tiempo del filtro de frecuencia de tiempo  $K(t)$ , al considerar que generalmente las fluctuaciones temporales contribuyen a  $RD_I$  a través de las señales  $V_i(t)$  variarán muy lentamente con el tiempo en que se asocian con frecuencias de rotación de la rueda que usualmente son mucho menores que la frecuencia de corte  $\omega_c$ , entonces la aproximación será numéricamente sonora.

En cada caso, esta es una nueva definición del indicador de torque de frenado residual.

A modo de referencia y por ejemplo,  $\tau$  podría ser un intervalo de 0,1 s.

Por lo tanto, la expresión anterior puede aproximarse adicionalmente por la siguiente expresión:

$$RD_I = \sum_{j=1}^M \tau \sum_{i=1}^N \left| \int_{t_j}^{t_j+\tau} V_i(t') \frac{\text{sen}(\omega_c(t_j-t'))}{t_j-t'} \right|^\alpha - RD_I^0$$

donde la parte integral de  $t$  se aproximó por una serie de  $j$  y el intervalo de tiempo se ha dividido en los subintervalos  $M$  de ancho  $\tau$ .

En el caso particular mencionado anteriormente, por ejemplo, con  $\tau = 0,1$  s y  $T = 1$  s, entonces  $M = 10$ . La expresión anterior, aunque aproximada, tiene la ventaja de ser extremadamente más económica desde el punto de vista computacional que todas las expresiones anteriores (tanto como funciones de tiempo y frecuencia).

Esta expresión puede integrarse fácilmente en sistemas embebidos y en equipos electrónicos más económicos, y por lo tanto será de particular beneficio para aplicaciones a bordo de vehículos en tiempo real. Ventajosamente cuando las condiciones de medición y la relación señal a ruido le permiten, es aún posible supervisar el término de filtrado  $K(t)$  (mediante el ajuste igual a 1 para cada punto en el tiempo  $t$ , y mediante la realización de una integración simple sin la circunvolución. En tal caso habrá el beneficio de tener una versión ventajosa numéricamente hablando y aún más simplificada para la carga computacional requerida.

Una vez que las funciones  $RD_i$  del indicador de torque de frenado residual se obtienen, entonces para coincidir estas a las mediciones de torque de frenado residual, será necesario la calibración que requerirá un banco de calibración de referencia.

Como se describe a continuación, dado que dicha calibración se basa en los resultados de  $RD_i$  como se deriva de ambos algoritmos, será totalmente válido para ambos métodos (con base en las funciones de la frecuencia y el tiempo).

El banco de referencia puede ser, preferentemente, un banco dinamométrico de laboratorio estándar con capacidad de medición de torque de frenado residual, o cualquier otro dispositivo conocido que tiene un sensor de torque de frenado residual para ser usado como referencia para calibrar el indicador de torque de frenado residual que se obtiene por medio de las señales (como una función de cualquier frecuencia o tiempo) que se transmiten por los sensores piezocerámicos de la placa inteligente para medir el torque de frenado residual directamente.

Otra característica preferencial de tal banco de calibración de referencia será la capacidad de revisar los valores de torque de frenado residual durante el proceso de calibración de manera fiable y precisa para mantener dichos valores lo más constante posible.

Un procedimiento de calibración de torque de frenado residual es el siguiente:

la determinación de  $RD_i^0$ , que se logra por la separación manual de las placas de freno del disco (retracción de los pistones de la pinza o partes de la pinza) y la adquisición del ruido de fondo en las señales de la placa inteligente y el banco para eliminar cualquier contribución no deseada; ajustar el torque de frenado residual por medio del ajuste manual del banco de calibración o por medios equivalentes para establecer el valor de referencia; la adquisición mutua del torque de frenado residual tanto del banco de calibración como del indicador de torque de frenado residual  $RD_i$  de las señales de la placa inteligente; la calibración de los datos experimentales por medio de repetir el procedimiento de ajuste manual y la adquisición mutua del torque para varios valores de torque de frenado residual en el banco; la creación de una curva de calibración analítica que se interpola a partir de los mejores datos de una curva de calibración experimental.

Preferentemente, con el procedimiento de calibración del torque de frenado residual mediante el uso de un banco de calibración de referencia, se considera un intervalo de valores de torque de frenado residual que varía de 0 a 30 Nm.

Al final del procedimiento, una curva de calibración se deriva con una expresión analítica para convertir los valores del indicador de torque de frenado residual  $RD_i$  a los valores reales del torque de frenado residual  $[Nm]$  que se mide en el banco de calibración de referencia.

Una curva de calibración típica se muestra en la Figura 6b, con una función polinómica típica de orden segunda o tercera, la cual, aparte de los valores específicos de los parámetros en el polinomial, es repetible y puede transferirse a una pinza y a un disco diferente, gracias a la buena independencia de las características tanto del disco como de la pinza en sí misma.

La Figura 7 muestra en cambio la dependencia de la curva de calibración sobre el número  $N$  de sensores de placas inteligentes, que ilustra una comparación entre el caso con todos los sensores incluidos en las evaluaciones de  $RD_i$  (hasta 10 sensores), y el caso en el que solo se consideran los sensores de cizallamiento (2 sensores).

El resultado real muestra que, incluso al limitar los sensores a los sensores de cizallamiento, no hay pérdidas significativas en la resolución del indicador de torque de frenado residual  $RD_i$ , y que la forma de la curva de calibración se ha mantenido casi idéntica.

Una comparación directa con la desviación entre los valores de torque de frenado residual que se miden con las placas inteligentes mediante el uso de las curvas de calibración que se obtienen en la Figura 7 y los del banco de calibración de referencia se muestran en la Figura 8, en donde se observa que la desviación máxima está dentro de  $\pm 1$  Nm o menos.

En la Figura 8, a la izquierda, los diamantes representan el caso que se limita a los sensores de cizallamiento solamente, mientras que los cuadrados de la figura en la derecha representan el caso con todos los sensores.

La versión del algoritmo con sensores de cizallamiento es solamente la versión preferente de la presente invención, esto tiene en cuenta que tal configuración disminuye la carga computacional y los requerimientos para el número total de sensores.

El algoritmo de torque de frenado residual con base en las señales que se detectan por las placas inteligentes se ha probado en varias condiciones con conjuntos de diferentes placas y discos y diferentes pinzas.

5 La Figura 9 muestra los resultados del error entre el torque de frenado residual que se mide por medio de las señales de la placa inteligente y las mediciones correspondientes que se toman en el banco dinamométrico de referencia para cuatro conjuntos diferentes de placas.

10 Las diferencias entre los resultados de las mediciones por medio de las placas inteligentes, hechas después del procedimiento de calibración, y los valores correspondientes de las mediciones que se toman en el banco dinamométrico se muestran para diferentes valores del torque de frenado residual dentro del intervalo de calibración (de 0 a 30 Nm).

15 Como evidencia de prueba, el error máximo de medición mediante el uso de las placas inteligentes con respecto a las mediciones que se toman en el banco dinamométrico está dentro de 1 Nm.

20 Dado que un banco dinamométrico de laboratorio tiene típicamente una precisión de 0,5 Nm, esto significa que la precisión de las mediciones mediante el uso de las placas inteligentes para medir el torque de frenado residual es comparable con la precisión de la medición en un banco dinamométrico.

25 Los resultados se muestran para ambos de los casos descritos anteriormente: resultados con todos los sensores en la placa inteligente (10 sensores por freno/par de placas inteligentes, es decir 5 por cada placa inteligente) y resultados con sensores de cizallamiento solamente en la placa inteligente (2 sensores por freno/par de placas inteligentes, es decir 1 sensor de cizallamiento por cada placa inteligente).

Además, la tabla debajo de los diversos gráficos revela los hallazgos estadísticos relacionados con el error promedio, el error máximo y las desviaciones estándar, que confirman los buenos resultados de las curvas de calibración obtenidas para los cuatro pares de placas inteligentes.

30 De hecho, podemos observar que no tenemos error sistemático para revelar, dentro de la precisión del banco dinamométrico, y que las desviaciones estándar y los errores máximos son menores que 1 Nm.

35 El dispositivo y método para medir el torque de frenado residual real del vehículo que se mide mediante el uso de placas inteligentes se probaron después en condiciones del mundo real a bordo de un vehículo de motor.

Con este fin, las pinzas de freno de un coche de pasajeros se equiparon con placas inteligentes y se realizaron pruebas específicas en una pista de prueba (circuito Nardo).

40 La prueba consistía en comparar las mediciones en tiempo real tomadas mediante el uso de placas inteligentes con mediciones realizadas en un laboratorio mediante el uso de un sensor externo, reproducir las condiciones de la velocidad del vehículo, inducir la rotación de la rueda, activar un evento de frenado como se realiza en el circuito y registrar los valores de torque de frenado residual durante una revolución de la rueda.

45 Al repetir el procedimiento varias veces, se obtuvo una medición que después se comparó con los valores estables que se obtuvieron al final de la sesión de prueba en la pista.

La Figura 10 muestra los resultados típicos que se producen por la placa inteligente después de un evento de frenado de 16 MPa (160 bar) y los que se obtienen antes de aplicar los frenos.

50 Puede observarse como el evento de frenado indujo un mayor torque residual, hasta 5 Nm, que el torque residual bajo la condición de frenado preliminar.

55 Al comparar estos últimos valores con los que se obtuvieron en el laboratorio mediante el uso de mediciones del sensor de torque externo, se observó que los resultados fueron muy similares, dentro de la precisión esperada de 1 Nm.

60 En relación con la respuesta sobre el tiempo del torque de frenado residual después del frenado, como se muestra en la Figura 11 se observa que justo después del frenado los valores de torque de frenado residual medidos son mayores, hasta 10 Nm o más, pero entonces las diferencias se reducen rápidamente hasta valores de 1-2 Nm y tienden a permanecer estables con el tiempo.

65 Cuando se comparan estos valores con los obtenidos en el laboratorio mediante el uso de mediciones que se toman por medio de sensores de torques externos, estos se vuelven muy similares, dentro de diferencias de 1-2 Nm. La presente invención describe por lo tanto un dispositivo y un método para medir los valores de torque de frenado residual de un vehículo equipado con frenos de disco, a bordo y en tiempo real, con base en la medición en tiempo real de las señales que se detectan a partir de sensores instalados en placas de freno inteligentes.

Se ha demostrado que el dispositivo y el método proporcionan una buena repetibilidad de los resultados y una precisión que es comparable con los resultados que se obtienen por medio de un banco de prueba de dinamómetro de referencia, que se conoce por el Estado de la técnica.

- 5 El dispositivo y el método proporcionan un nuevo enfoque para la medición directa del torque de frenado residual y permiten su medición en tiempo real incluso a bordo de un vehículo y en tiempo real.

10 La presente invención e innovación, gracias al hecho de que puede medir el torque de frenado residual en tiempo real y de manera precisa, puede usarse, entre otras aplicaciones, para proporcionar, a través de otros medios especializados, instrucciones a las llamadas pinzas de freno inteligentes y por lo tanto a intervenir en el accionamiento y la retracción del pistón de accionamiento de las placas para minimizar el espacio de estas con el disco y al mismo tiempo reducir el torque de frenado residual a valores por debajo de 0,5 Nm.

15 Por lo tanto, las principales ventajas hechas posibles mediante esta aplicación especial, pero no exclusiva o limitada de la invención, serán la minimización del espacio entre las placas y los frenos, lo que resulta en un retraso consecuentemente mínimo en la aplicación de los frenos, el control y la minimización del torque de frenado residual con el bajo desgaste de la placa de freno y la reducción del consumo de combustible, la minimización del efecto de envejecimiento y desgaste sobre los materiales de retracción y la maximización de la eficiencia de la pinza de freno gracias al control directo en tiempo real del nivel de torque de frenado residual.

20 Además, las mediciones de torque de frenado residual que se detectan en tiempo real a bordo del vehículo por medio de la invención pueden enviarse en tiempo real mediante el uso de medios de conexión específicos a al menos una unidad de registro y procesamiento remoto.

25 Es claro que este dispositivo y método para medir el torque de frenado residual por medio de señales de placas de freno inteligentes, además de las aplicaciones a bordo y en tiempo real, pueden aplicarse ventajosamente a una prueba de banco dinamométrico tradicional, conjuntamente o en lugar de mediciones de torque estándares conocidas.

30 Por lo tanto, la invención que se concibe es susceptible a numerosas modificaciones y variantes que se encuentran dentro del concepto inventivo.

35 En particular, el dispositivo para la detección del torque de frenado residual de acuerdo con la invención también puede contemplarse en un vehículo equipado con frenos tambor que comprende, para cada rueda del vehículo, de al menos un sensor piezocerámico integrado por debajo del material de fricción de las zapatas del tambor de freno.

Además, todos los detalles pueden reemplazarse por elementos técnicamente equivalentes.

40 Con respecto a esto, y de particular relevancia, existe el uso de tal modalidad junto con otros sensores integrados a bordo de una placa de freno, con referencia particular a sensores de temperatura, preferentemente sensores de tipo PT1000, que se posicionan en el circuito impreso integrado en el soporte metálico de la placa de freno inteligente. Además, para completar la oferta de la información disponible de este sensor inteligente, también es posible integrar un sensor de desgaste o un indicador de desgaste de la placa de freno en un nivel de software dentro de la unidad de control electrónico que gestiona los datos de las placas de freno inteligentes obtenidas sobre la base de los datos primarios de la placa de freno. Los datos de torque residual para cada rueda, y las contribuciones relacionadas de las placas de las pinzas de frenos individuales, incluido los datos de temperatura de la placa de freno relacionados y el nivel de desgaste de la misma pueden transmitirse entonces a la plataforma de servicio multimedia a bordo del vehículo o al "ordenador del cuerpo" del vehículo, o al menos a un microprocesador que pertenece a dicha plataforma/sistema para visualmente o por medio de alarmas gestionar los datos que se proporcionan por la unidad de control electrónico de la placa de freno inteligente. La transmisión de los datos desde la unidad de control electrónico que gestiona los datos del sensor y el sistema de servicio multimedia del vehículo puede llevarse a cabo por cable o inalámbrico. En este último caso es preferible que la unidad de control electrónico que gestiona la placa de freno se integre en la cercanía inmediata de la placa de freno, y preferentemente dentro de la parte desmontable del conector, que integrará la unidad de control y el sistema de transmisión inalámbrico en lugar del cable de transmisión de datos. Además, una batería pequeña o dispositivo de recuperación de energía (térmica o mecánica) alimentará todos los componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento general de los componentes electrónicos. Para hacer posible la integración de todo y a baja potencia, el sistema completo debe implementarse preferentemente mediante el uso de un ASIC (Circuito Integrado de Aplicación Específica).

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco que comprende, para cada rueda del vehículo, al menos un sensor piezocerámico que se integra en el soporte de material de fricción de una unidad de freno, caracterizado porque dicho sensor piezocerámico se conecta, por medio de un circuito eléctrico, a al menos una unidad de control electrónico dedicada para la adquisición y gestión, mediante el uso de medios de gestión, de las señales que se detectan por dicho sensor piezocerámico directamente a partir de dicho material de fricción de la unidad de freno, dichos medios de gestión de señales que incluyen al menos un indicador de torque residual que interactúa por medio de al menos una interfaz de comunicación con el servicio de al menos un ordenador a bordo del vehículo sobre al menos un sistema de comunicación dedicado.
2. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dichos medios de gestión de dichas señales aumentan la capacidad de medición de dicho sensor piezocerámico hasta el intervalo de las mediciones de torque de frenado típico para medir el torque de frenado residual.
3. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dichas mediciones de torque residual son de 0,1 Nm a 30 Nm.
4. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicho indicador de torque de frenado residual mide indirectamente el torque de frenado real y permite la actualización constante en tiempo real de dichas mediciones.
5. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicho indicador de torque de frenado residual mide aquellas cantidades que pueden asociarse con la presencia de un torque de frenado residual y su intensidad.
6. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dichos medios de gestión de señales realizan un análisis con base en la frecuencia y/o un análisis con base en el tiempo.
7. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dichos medios de gestión de señales presentan, en términos cuantitativos, el torque de frenado residual que comienza desde el espectro de frecuencias de las señales que se proporcionan por dicho al menos un sensor piezocerámico.
8. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dichos medios de gestión de señales detectan una estructura de pico específica dentro del espectro de frecuencias de las señales que se proporcionan por dicho al menos un sensor piezocerámico, cuyos picos se asocian con la velocidad angular de rotación de cada rueda de dicho vehículo.
9. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dichos medios de gestión de señales detectan una estructura específica de oscilaciones en las intensidades con el tiempo en las señales que se proporcionan por dicho al menos un sensor piezocerámico, cuyas oscilaciones se asocian con la velocidad angular de rotación de cada rueda de dicho vehículo.
10. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende un filtro pasa banda de hardware o software que funciona a alrededor de 50 Hz para eliminar todas las contribuciones de compatibilidad electromagnética (EMC) que pueden influir en el indicador de torque de frenado residual.
11. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicho indicador de torque de frenado residual que se obtiene por medio de señales como una función del tiempo o como una función del tiempo, a medida que se transmite por dicho al menos un sensor piezocerámico, se calibra mediante el uso de un banco dinamométrico para la medición directa del torque de frenado residual.
12. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque un sensor de temperatura se integra en dicho circuito eléctrico.

- 5 13. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dichos medios de gestión incluyen al menos un indicador de desgaste del material de fricción con al menos una interfaz de comunicación a los servicios de al menos un ordenador a bordo del vehículo sobre al menos un sistema de comunicación dedicado.
- 10 14. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque un conector se integra en dicho soporte de material de fricción que se conecta a dicho circuito eléctrico y a la unidad de control electrónico por medio de un cable eléctrico.
- 15 15. El dispositivo para detectar el torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque un conector se integra en dicho soporte de material de fricción que se conecta a dicho circuito eléctrico que integra además un módulo inalámbrico de transmisión de datos para comunicarse con al menos un ordenador a bordo del vehículo por medio de al menos un sistema de comunicación dedicado.
- 20 16. Un método para la calibración del torque de frenado residual en un vehículo equipado con frenos de disco por medio de un banco dinamométrico de referencia de calibración caracterizado por:
- 25 • adquirir, por medio de la separación de las placas de freno del disco, el ruido de fondo contenido dentro de las señales de las placas y el banco dinamométrico para retirar cualquier contribución no deseada;
- configurar el torque de frenado residual por medio del ajuste manual de dicho banco para establecer el valor de referencia;
- 30 • adquirir mutuamente los datos de torque de frenado residual de dicho banco y del indicador de torque de frenado residual por medio de las señales de las placas;
- calibrar dichos datos experimentales por medio de la repetición del procedimiento de ajuste manual y la adquisición mutua y contextual del torque de frenado residual para varios valores de dichos valores de torque de frenado residual en dicho banco;
- crear una curva de calibración analítica que se interpola a partir de los mejores datos de una curva de calibración experimental.
- identificar una expresión analítica a partir de la curva de calibración para convertir los valores del indicador de torque de frenado residual a los valores de torque de frenado residual reales.

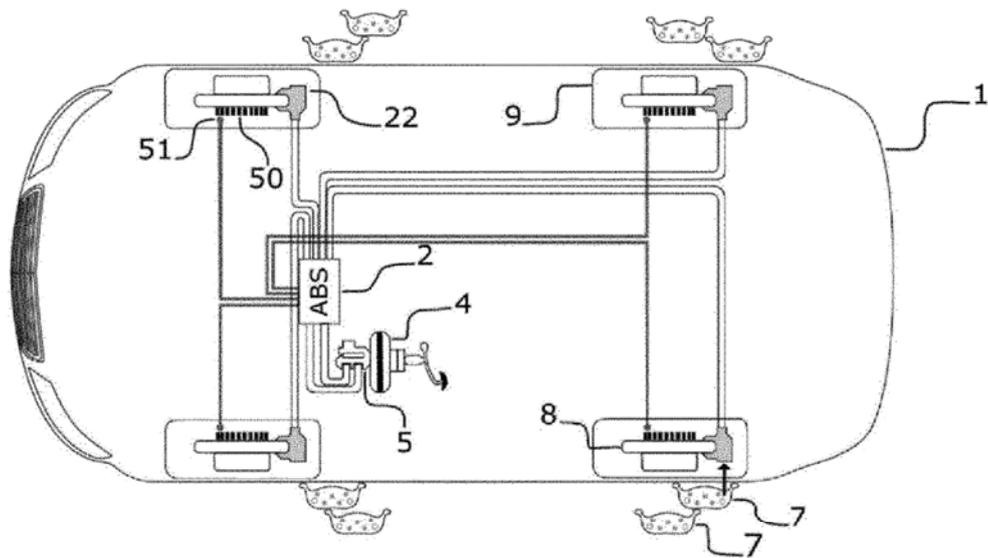


Figura 1

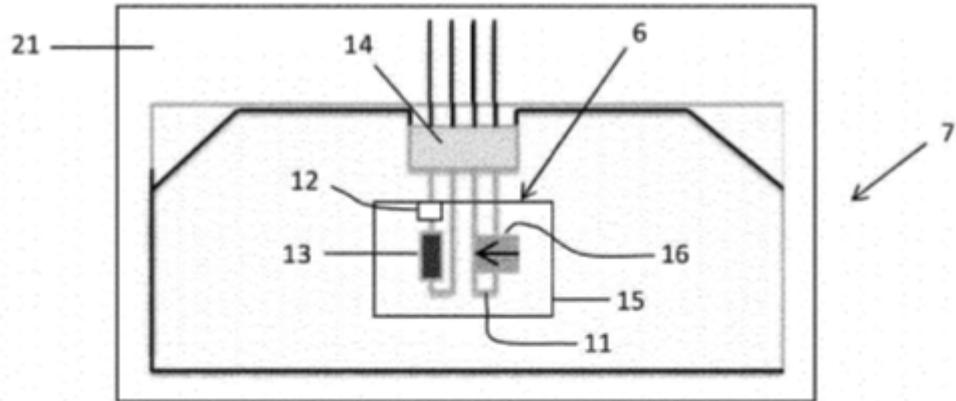


Figura 2

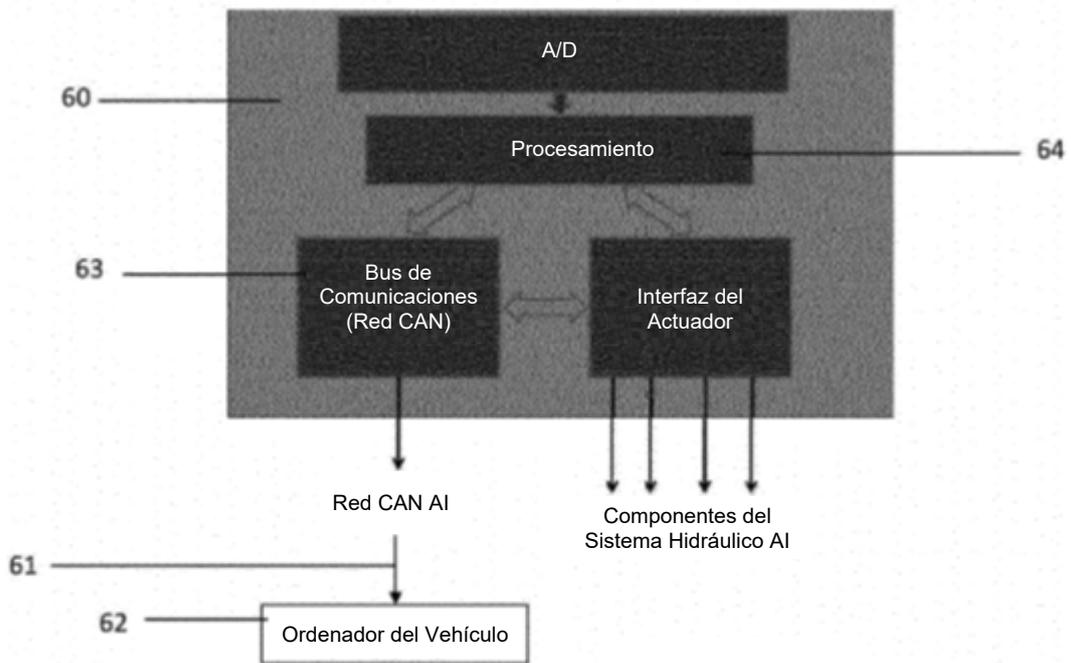


Figura 3

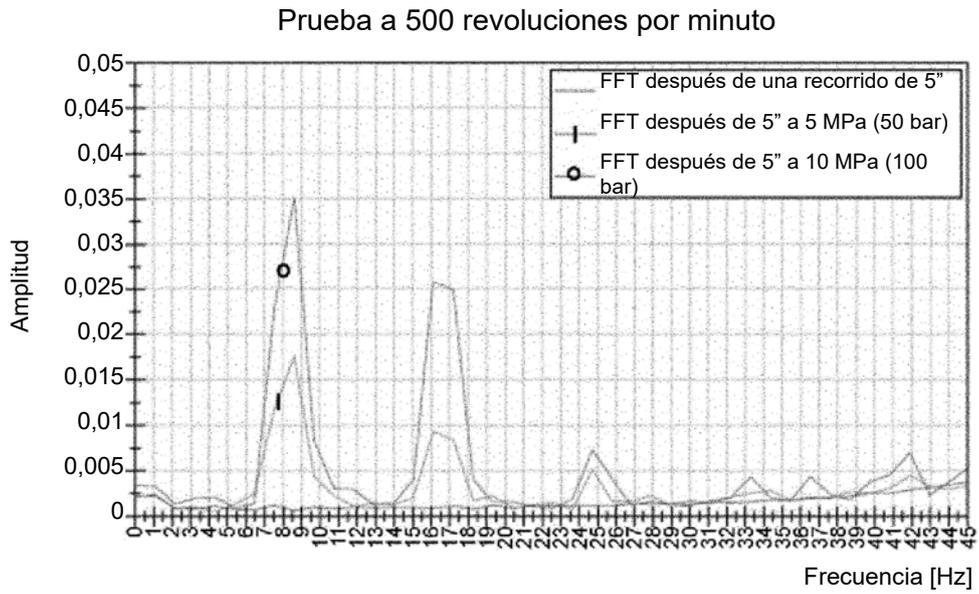


Figura 4

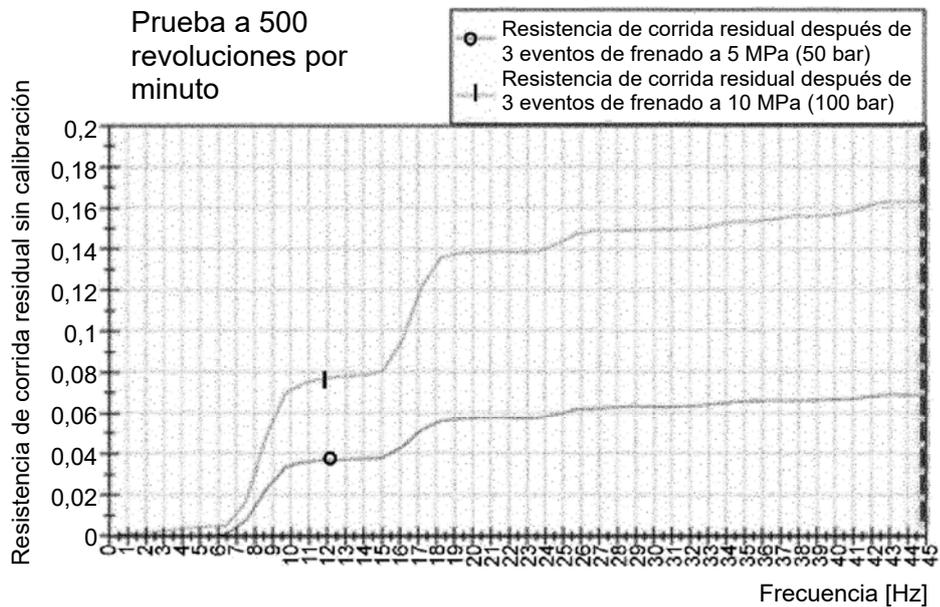


Figura 5

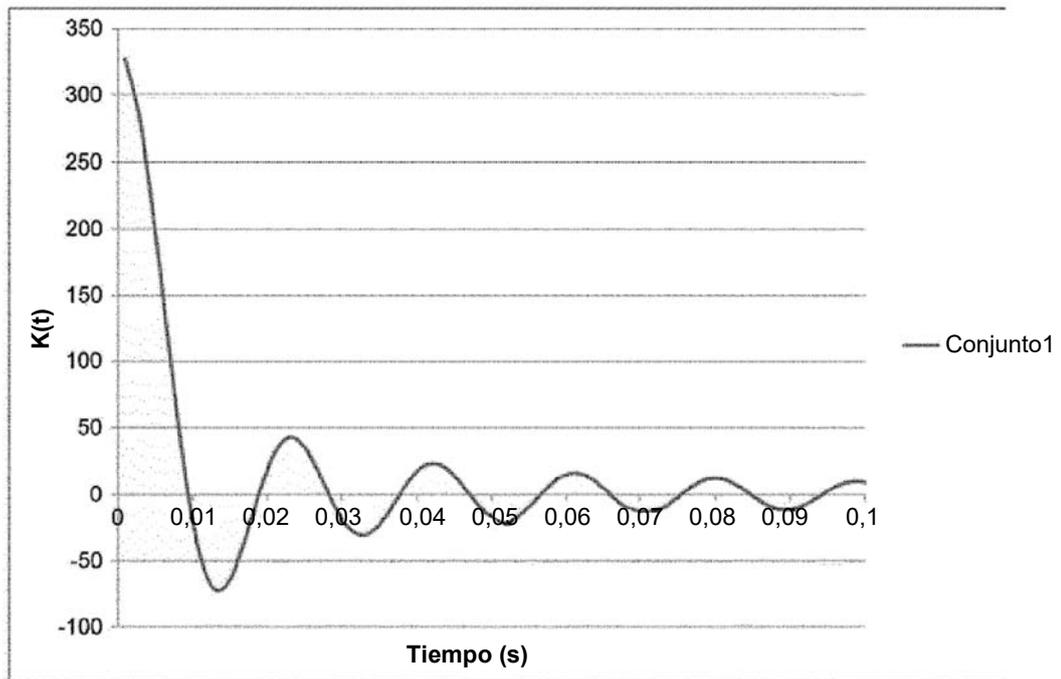


Figura 6a

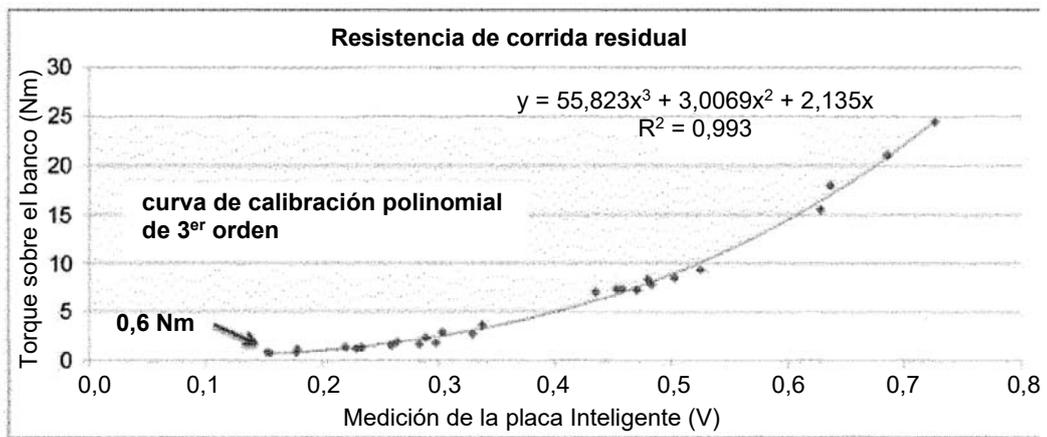


Figura 6b

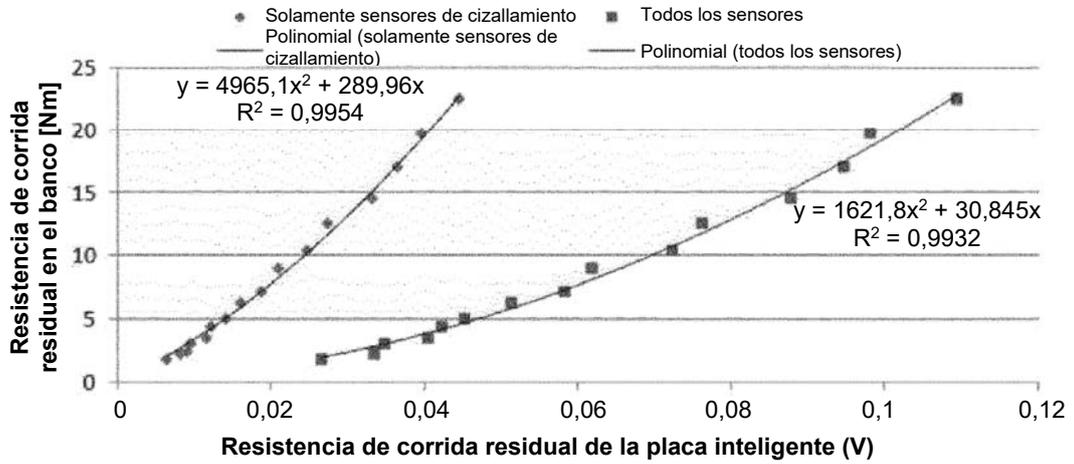


Figura 7

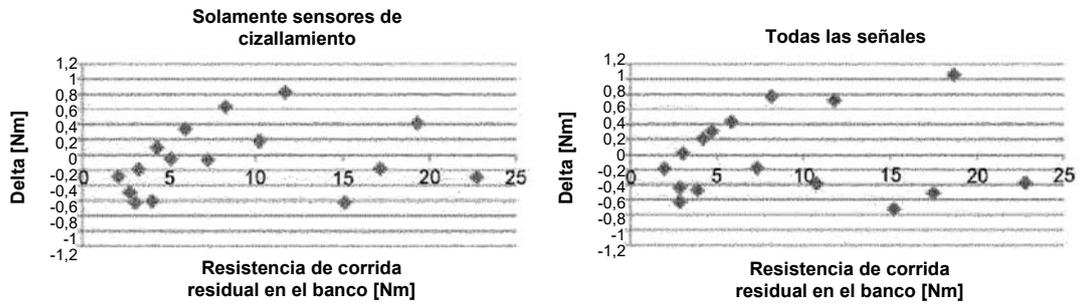


Figura 8

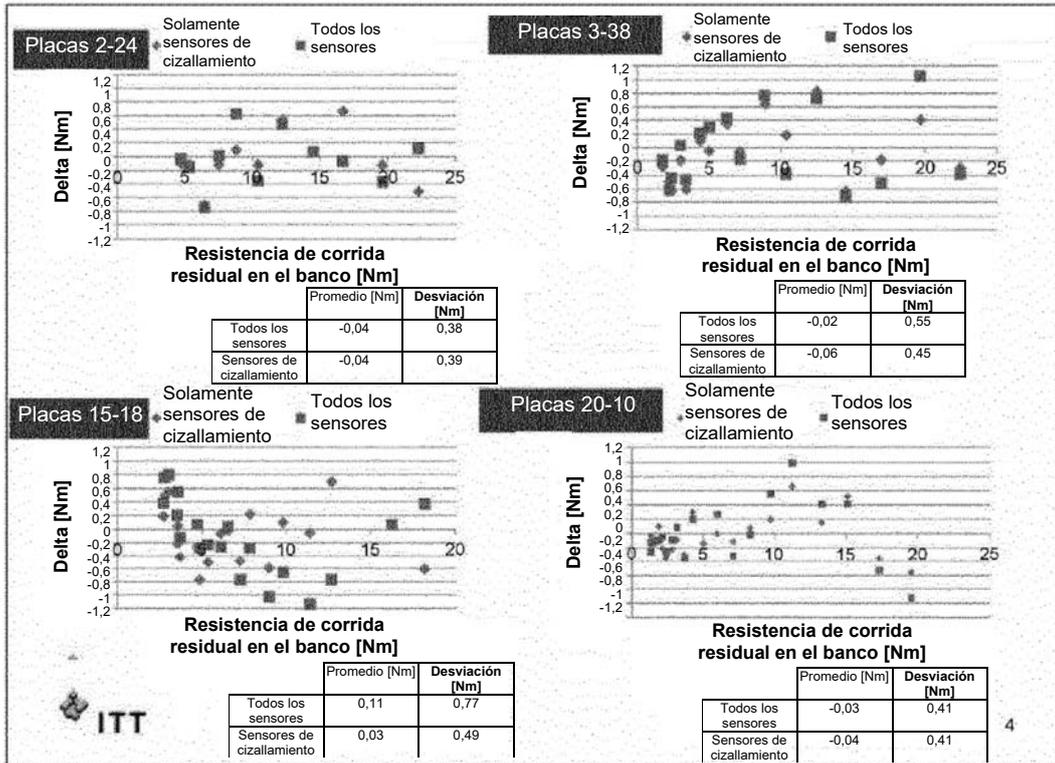


Figura 9

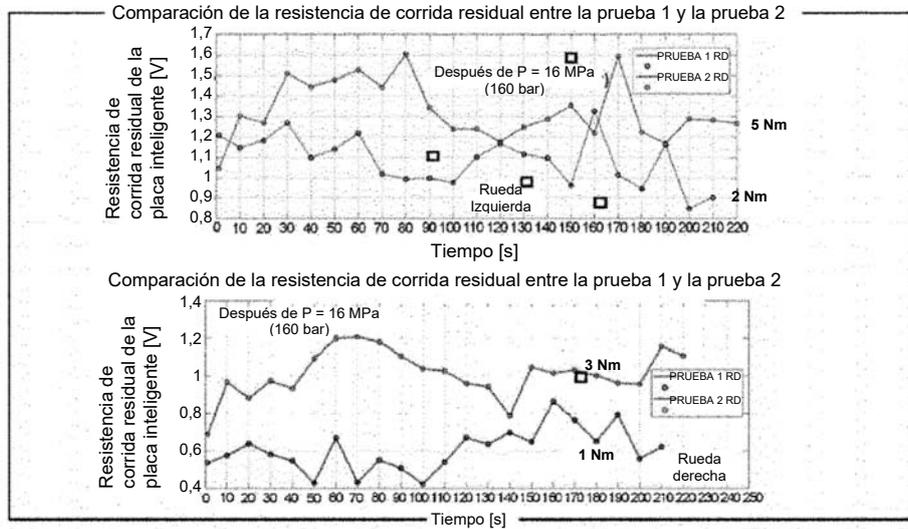


Figura 10

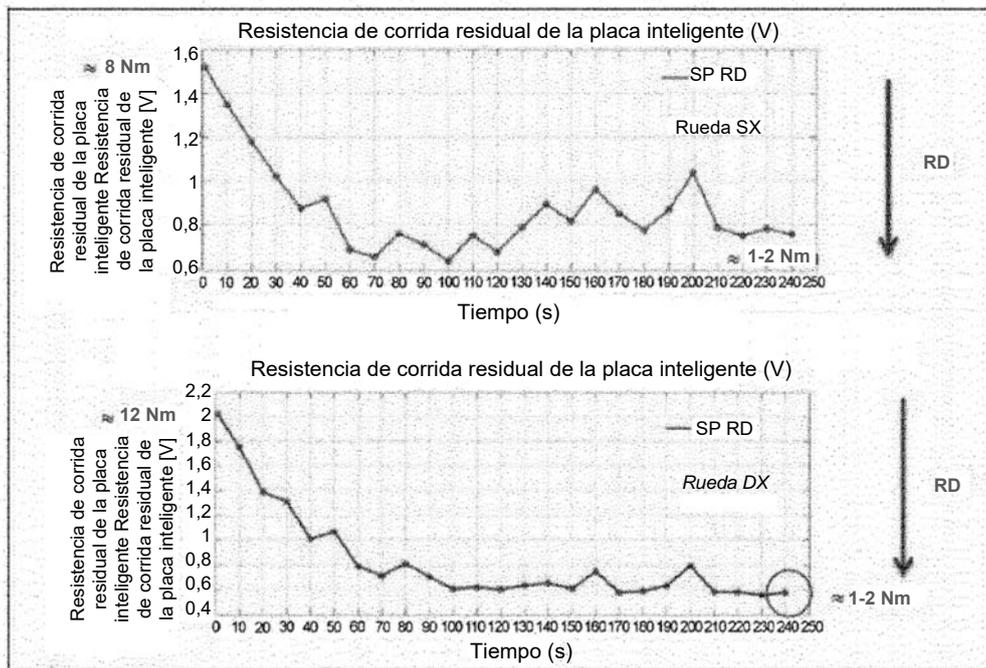


Figura 11