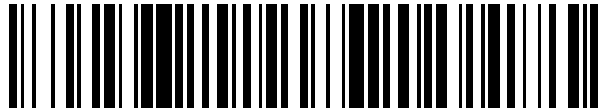


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 445 392**

51 Int. Cl.:

B60T 5/00 (2006.01)

B60T 17/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.01.2008** **E 08150519 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2013** **EP 1950111**

54 Título: **Proceso para comprobar la temperatura de los elementos de frenado de un vehículo, en particular un vehículo ferroviario**

30 Prioridad:

23.01.2007 IT TO20070040

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

03.03.2014

73 Titular/es:

FAIVELEY TRANSPORT ITALIA S.P.A. (100.0%)
Via Volvera 51
10045 Piossasco (TO), IT

72 Inventor/es:

TIONE, ROBERTO

74 Agente/Representante:

PÉREZ BARQUÍN, Eliana

ES 2 445 392 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

Proceso para comprobar la temperatura de los elementos de frenado de un vehículo, en particular un vehículo ferroviario

5 La presente invención se refiere a un proceso para comprobar la temperatura de los elementos de frenado de un vehículo, en particular un vehículo ferroviario, del tipo según el preámbulo de la reivindicación 1.

10 El documento DE 102005019276 A1 da a conocer un método de ese tipo para su uso en un vehículo de carretera con un motor de combustión interna. La energía térmica neta aplicada a los discos de freno dispuestos cerca del motor se calcula teniendo en cuenta también la temperatura en el compartimiento del motor.

15 El documento EP 1083360 A proporciona un sistema que implementa un algoritmo para estimar la temperatura de un primer elemento de frenado (disco de freno) y de un segundo elemento de frenado (pastilla) de un vehículo que pertenezca a un vagón ferroviario o tren. Este algoritmo evalúa el calor desarrollado en el sistema de disco/pastilla de freno con referencia al cambio general en la energía cinética y potencial del vehículo, la contribución de las resistencias al movimiento y cualquier implicación de dispositivos de frenado adicionales que no sean el freno neumático convencional.

20 El documento DE 4316993 A1 da a conocer métodos para determinar el grosor que queda de las pastillas de freno y la temperatura de los discos de freno.

25 En los documentos DE 10157449 A1, WO 92/00212 A1 y GB 2289765 se dan a conocer métodos adicionales para determinar la temperatura de los discos de freno.

Es un objeto de esta invención proporcionar un proceso innovador y más directo para comprobar la temperatura de los discos de freno, que entre otras cosas no requiera calcular la energía cinética del vehículo ni los cambios en su energía potencial, ni reconocer la contribución de otros tipos de freno.

30 Este y otros objetos se llevarán a cabo de acuerdo con la invención mediante un proceso cuyas características principales se definen en la reivindicación 1 adjunta.

35 Otras ventajas y características de la presente invención quedarán claras a partir de la siguiente descripción detallada, que se ofrece con referencia a los dibujos adjuntos que se ofrecen meramente a modo de ejemplo no limitativo y en los que:

la figura 1 es una vista en planta parcial de un bogie de un vehículo ferroviario y muestra en particular un eje con el que están asociados dos dispositivos de disco de freno,

40 la figura 2 es una vista en perspectiva parcial de dos discos de freno diferentes,

la figura 3 es una representación de un diagrama ilustrativo de un modelo de una simulación unidimensional de un disco de freno utilizado en el proceso de acuerdo con la invención,

45 la figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra el algoritmo utilizado en el proceso de acuerdo con la invención,

la figura 5 es un diagrama de bloques del sistema de procesamiento y de los dispositivos asociados utilizados para implementar el proceso de acuerdo con la invención,

50 la figura 6 muestra cambios de temperatura ejemplares en un disco de freno comprobados utilizando el proceso de acuerdo con la invención,

55 la figura 7 es un conjunto de dos diagramas que muestra cambios simulados en la velocidad de avance del vehículo y en la fuerza de frenado aplicada en una dirección normal al disco de freno en función del tiempo representado en la abscisa, y

la figura 8 muestra las correspondientes temperaturas calculadas utilizando el proceso de acuerdo con la invención en relación con los cambios simulados en la velocidad de avance y en la fuerza de frenado mostrados en los gráficos de la figura 7.

60 En la figura 1B se muestra en su conjunto un bogie de un vehículo ferroviario. Tal como es sabido este bogie comprende una estructura de carga S en la que están soportados una pluralidad de ejes, de los que en la figura 1 solo se ilustra uno, que está indicado en su conjunto por A. Tal como es sabido este eje comprende un vástago 1, en cuya extremidad están enchavetadas unas ruedas 2.

65 Dos discos de freno, cada uno indicado en su conjunto por 10, están asociados con el eje A. Cada uno de estos

dispositivos comprende un disco indicado en su conjunto por D, sobre cuyas superficies laterales opuestas actúan correspondientes pastillas de freno P soportadas por unas zapatas basculantes C asociadas que pueden operarse mediante unos pistones neumáticos asociados.

5 Cada disco de freno D comprende dos anillos extremos D1 entre los que se extienden unas aletas o álabes V que al desplazarse generan una fuerza de ventilación. Estas aletas pueden ser de tipo radial o tangencial, tal como se muestra en la figura 2.

10 Con referencia a la figura 1, cada freno de disco D tiene una forma esencialmente simétrica con respecto a su plano transversal medio a-a.

15 El proceso de acuerdo con la invención se basa en un modelo físico matemático unidimensional del disco de freno D y este modelo se beneficia de la condición de simetría con respecto al plano transversal medio a-a. De hecho este modelo considera el equilibrio de energía, específicamente el equilibrio térmico, en uno de los dos semidisos, en los que está dividido el disco D por el plano a-a.

20 Con referencia a la figura 3, en el algoritmo que implementa el proceso de acuerdo con la invención se considera que la banda F de cada semidisco está subdividida en N elementos anulares transversalmente adyacentes, en donde N es un número entero, por ejemplo igual a 8.

Con referencia a la figura 3, los elementos anulares de la banda F están indicados por E_i , donde $i = 1, \dots, N$, desde el elemento sometido a la fuerza de una pastilla de freno P hasta el elemento terminal sometido a la acción del flujo de ventilación inducido por las aletas o álabes V.

25 Las temperaturas medias indicadas por $\bar{T}_1, \dots, \bar{T}_N$ corresponden a los elementos anulares discretos E_1, \dots, E_N .

Las temperaturas que corresponden a las interfaces situadas entre los elementos anulares exteriores E_1 y E_N y el ambiente exterior están indicadas por T_1 y T_{N+1} respectivamente. Las temperaturas en las interfaces situadas entre los elementos anulares continuos están indicadas en orden por T_2, T_3, \dots, T_N .

30 De aquí en adelante el subíndice t indicará el valor de una cantidad en el tiempo t. Por ejemplo, $T_{i,t}$ ($i = 2, \dots, N+1$) indica la temperatura en la interfaz situada entre los elementos anulares E_i y E_{i-1} en el tiempo t.

35 En el proceso de acuerdo con la invención, la velocidad angular relativa entre el disco de freno D1 y el elemento de freno asociado o pastilla P se determina utilizando un sensor 11 (figuras 4 y 5) que tiene una salida eléctrica. También se determina la magnitud de la fuerza aplicada sobre el disco de freno D a través del efecto de activación del actuador de frenado asociado. Esto se logra por ejemplo utilizando un sensor de presión 12 que detecta la presión de frenado aplicada sobre el actuador asociado (pistón de freno).

40 Con referencia a la figura 5, los sensores 11 y 12 están conectados a unas correspondientes entradas a una unidad electrónica de procesamiento ECU, proporcionada por ejemplo mediante el uso de un microprocesador. Dicha unidad está diseñada en particular para implementar el algoritmo al que se refiere el diagrama ilustrativo en la figura 4 que se describirá mejor a continuación.

45 Con referencia a la figura 4, el algoritmo llevado a cabo por la unidad electrónica ECU proporciona a la misma en primer lugar los datos indicativos de muchas características geométricas de los elementos implicados, en particular las características geométricas del disco de freno D, de sus elementos D1 y de las aletas V intervinientes, así como las características geométricas del engranaje de frenado, el pistón de freno y las ruedas 2 del bogie B.

50 También se proporcionan en primer lugar a la unidad ECU datos indicativos de las características de los materiales que constituyen los mencionados elementos, tales como conductividad térmica y capacidad calorífica total y la densidad del material que forma el disco de freno D y las pastillas P asociadas.

55 En base a las señales o datos proporcionados por los sensores 11 y 12 y a los datos indicativos de las características geométricas y de las características de los materiales, la unidad electrónica de procesamiento ECU calcula la energía mecánica convertida en calor cuando el disco de freno D y las pastillas P asociadas entran en contacto mutuo, tal como se describirá mejor a continuación y por lo tanto calcula la energía térmica neta aplicada al disco de freno como la diferencia entre la mencionada energía mecánica y la energía térmica intercambiada por el disco de freno con las pastillas y el ambiente colindante.

60 Por lo tanto la unidad ECU obtiene una indicación cuantitativa de la temperatura del disco de freno D como una función de esta energía térmica neta y de la masa y la capacidad térmica del disco de freno.

65 Por lo tanto la unidad de procesamiento y control ECU controla correspondientemente un dispositivo de representación visual y/o de control, indicado en su conjunto por 13 en la figura 5, tal como se describirá mejor a

continuación.

5 Con el fin de determinar la temperatura y/o desgaste del disco de freno D y de las pastillas P asociadas el algoritmo utilizado por la unidad ECU evalúa la entrada de energía térmica originada por el efecto de fricción entre los mencionados elementos D y P en movimiento relativo (energía mecánica que se transforma en energía térmica disipada). Con este fin puede obtenerse con precisión por ejemplo el coeficiente de fricción μ durante las pruebas de aprobación del sistema de disco/pastilla en un banco dinamométrico tal como requiere la norma UIC541-3.

10 El algoritmo comienza calculando la fuerza de fricción entre el disco D y una de las dos pastillas asociadas P, que se expresa como sigue:

$$F_{fr} = \frac{\mu \cdot i \cdot \eta_{mec} \cdot (\eta_{sello} \cdot p A_{cil} - F_{muelle})}{2n_{disco}} = \mu(k_1 \cdot p + k_2) \quad (1)$$

15 en donde μ es el coeficiente de fricción entre el disco de freno y una pastilla, i es la relación total del mecanismo que amplifica la fuerza aplicada sobre el pistón de freno en la dirección del disco, $\eta_{mecanismo}$ es la eficiencia del mecanismo, η_{sello} es la eficiencia del sello aplicado al pistón de freno, p es la presión neumática en el pistón de freno, $A_{cilindro}$ es el área de superficie frontal activa del pistón, F_{muelle} es la fuerza del muelle antagonista asociado con el pistón de freno y k_1 y k_2 son constantes.

20 La energía mecánica disipada por fricción en el elemento E_1 del disco de freno D, cuando existe deslizamiento entre el disco y la pastilla, es:

$$P_{fr} = F_{fr} \cdot v_{rfm} \quad (2)$$

25 donde v_{rfp} es la velocidad de deslizamiento de la pastilla P correspondiente al radio de frenado medio. Asumiendo una rotación pura entre la rueda 2 y el raíl obtenemos:

$$v_{rfm} = \omega \cdot R_{rfm} \quad (3)$$

30 en donde ω es la velocidad angular del disco de freno D y R_{rfp} es el radio de frenado medio.

Sustituyendo (1) y (3) en (2), obtenemos:

$$P_{fr} = \mu \cdot (k_3 \cdot p \cdot \omega + k_4 \cdot \omega) \quad (4)$$

35 en donde k_3 y k_4 son constantes.

40 En el caso donde la fuerza F_{muelle} del muelle antagonista (no representado) del pistón de freno sea despreciable con respecto a la fuerza de presión (como por ejemplo en el caso del perfil de misión típica de un servicio de transporte subterráneo), se obtiene una expresión simplificada:

$$P_{fr} = \mu \cdot k_3 \cdot p \cdot \omega \quad (5)$$

45 La energía P_{fr} se convierte en energía térmica transferida a los dos elementos (el disco D y la pastilla P) en contacto entre sí.

Con referencia a la expresión (5) presentada anteriormente el coeficiente de fricción μ entre la pastilla y el disco depende de los siguientes factores principales:

50 - la velocidad de deslizamiento: la función que regula el cambio en μ con la velocidad relativa ω de las dos superficies depende de la pareja de materiales (los materiales que constituyen el disco y la pastilla),

- la temperatura T en la interfaz (superficie de contacto) entre el disco y la pastilla; normalmente μ disminuye con el aumento de la temperatura T,

55 - la presión de contacto específica entre el disco y la pastilla; normalmente μ disminuye a medida que dicha presión

aumenta, y

- la humedad de las superficies.

- 5 El coeficiente de fricción μ se determina experimentalmente. Así la función que controla el cambio en μ debe considerarse como disponible para los fabricantes de sistemas de frenado o conocida por los mismos.

10 El algoritmo utilizado en el proceso de acuerdo con la invención utiliza un coeficiente de fricción μ que es una función de la velocidad angular relativa ω entre el disco de freno y la pastilla; sin embargo, si no se conoce la relación entre μ y las magnitudes anteriormente mencionadas, puede utilizarse un valor promedio constante como primera aproximación.

15 La presión sobre el pistón de freno p y la velocidad angular ω son parámetros de entrada para el modelo de simulación para comprobar la temperatura alcanzada por el disco de freno durante el funcionamiento; las correspondientes señales se proporcionan por los sensores 11 y 12, que normalmente ya están presentes en los vehículos ferroviarios en los que está instalada la última generación de sistemas de frenado, por ejemplo el sistema EPAC (Control Avanzado Electro Neumático) producido por el Solicitante.

20 La energía térmica P_{fr} generada en la interfaz entre el disco de freno D y la pastilla P se transmite parcialmente al disco D y el resto se transmite a la pastilla P o se disipa en el ambiente en forma de calor.

25 El porcentaje de la energía térmica transmitido al disco de freno depende de las características térmicas de los materiales que forman el disco y la pastilla, en particular sus correspondientes valores de conductividad térmica, capacidad calorífica total y densidad.

30 En el algoritmo implementado de acuerdo con la presente invención, para simular correctamente la conducción se subdivide la banda transversal F de un semidisco $D1$ en un número entero finito N de elementos E_1, \dots, E_N , para cada uno de los cuales se calcula el cambio de temperatura en el tiempo como resultado del efecto de la energía térmica neta que penetra en cada uno de los mismos.

La energía térmica entrante neta para cada elemento de la banda F viene dada por la ecuación:

$$\dot{Q}_{net_i,t} = m_i c_{i,t} \frac{d\bar{T}_{i,t}}{dt} \quad (6)$$

35 donde m es la masa de cada elemento E_1, \dots, E_N ,

c es la capacidad calorífica total, \bar{T} es la temperatura media.

40 El subíndice i en (6) se refiere al i -ésimo elemento de subdivisión de la banda transversal F de un semidisco $D1$; t indica el tiempo.

45 La energía neta que penetra en los dos elementos extremos E_1 y E_N tiene en cuenta los intercambios de calor con el ambiente colindante por convección y radiación y con el elemento adyacente (E_2, E_{N-1}) por conducción, así como la energía térmica generada en la interfaz disco-pastilla.

Por su parte, los elementos intermedios E_2, \dots, E_{N-1} en lugar de ello intercambian calor sustancialmente con los dos elementos adyacentes a los mismos únicamente por conducción.

50 El algoritmo tiene en cuenta el hecho de que se ventila el disco de freno $D1$. La ventilación se lleva a cabo a través del intercambio térmico convectivo entre los elementos terminales E_1 y E_N del disco de freno y el flujo del aire de circulación.

La energía térmica en general intercambiada por convección tiene el valor:

$$\dot{Q}_{conv} = \alpha \cdot A_{conv} \cdot (T_{pared} - T_{aire}) \quad (7)$$

55 donde α es el coeficiente de intercambio térmico convectivo, A_{conv} es el área de convección, T es la temperatura.

60 Los coeficientes de intercambio térmico convectivo del lado de ventilación y del lado de la pastilla, esto es para los elementos terminales E_1 y E_N , dependen de la geometría específica y son mayores cuanto más elevada sea la

velocidad de avance del tren o la velocidad angular ω equivalente.

El coeficiente de intercambio térmico convectivo en el lado de la pastilla tiene el valor (elemento anular exterior E_1):

$$\alpha_{fr} = k_5 \cdot \bar{\rho}_{fr}^{e1} \cdot \omega^{e1} \quad (8)$$

5

en donde ρ_{fr} es la densidad del aire correspondiente a la superficie de fricción entre el disco y la pastilla, k_5 es una constante y $e1$ es un exponente.

10 $\bar{\rho}_{fr}$ depende de la temperatura ambiente y de la presión.

En este caso, con referencia a (7), la temperatura de pared T_{pared} coincide con T_1 (la temperatura de la pared en el aire del primer elemento E_1 de la banda F empezando por el lado de la pastilla), esto es la pared que coincide con la corona del disco D sobre la que se mueve la pastilla P.

15

El coeficiente de intercambio térmico del lado de ventilación tiene el valor:

$$\alpha_{ven} = k_6 \cdot \bar{\rho}_{ven}^{e2} \cdot \omega^{e2} \quad (9)$$

20 en donde $\bar{\rho}_{ven}$ es la densidad media del aire entre los elementos de ventilación V, que depende de la velocidad angular ω y de la temperatura de las superficies de esos elementos de ventilación y de la temperatura del aire ambiente, $e2$ es un exponente y k_6 es una constante.

25 En este caso la temperatura de pared T_{pared} es la misma que T_{N+1} , (la temperatura de la pared en el aire del N-ésimo elemento E_N de la banda F empezando por el lado de la pastilla).

En la situación en la que se utilicen aletas tangenciales (como en el disco de freno a la derecha de la figura 2) en vez de aletas radiales, la ecuación (9) tiene una forma que es una función de estas magnitudes, pero tiene diferentes coeficientes.

30

La energía térmica intercambiada por conducción correspondiente a la interfaz situada entre dos elementos discretos consecutivos de la banda F tiene el valor:

$$\dot{Q}_{cond} = -\lambda(T_i) \cdot A_{cond} \cdot \left. \frac{dT(t)}{dx} \right|_i \quad (10)$$

35

donde λ es la conductividad térmica, x es la coordenada para la posición a lo largo del eje del disco de freno y A_{cond} es el área de la superficie de conducción.

Finalmente, la energía térmica intercambiada por radiación entre las paredes del disco D y el aire tiene el valor:

40

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_{rad} \cdot (T_i^4 - T_{aire}^4) \quad (11)$$

donde ε es el coeficiente de emisión, σ es la constante de Stefan-Boltzmann y A_{rad} es el área de la superficie radiante.

45

El algoritmo utilizado por el proceso de acuerdo con la invención utiliza valores almacenados en memoria en una tabla, o polinomios interpoladores, para determinar la capacidad térmica total c y la conductividad térmica λ del disco D como cambios de temperatura, con una función de variación que depende del material. Al resolver el sistema de

ecuaciones (5), (6), (10) y (11), puede utilizarse el algoritmo para calcular la temperatura \bar{T}_i en un momento genérico de tiempo t para los elementos discretos individuales E_1, \dots, E_N , de acuerdo con la ecuación:

50

$$\bar{T}_{i,t} = \bar{T}_{i,t=0} + \Delta T_{Algoritmo,t} \quad (12)$$

5 donde $\Delta T_{\text{Algoritmo},t}$ es el aumento de temperatura calculado por el algoritmo hasta el tiempo t a través del efecto de la energía térmica generada por la fricción entre el disco D y la pastilla P y los intercambios térmicos debidos a convección, conducción y radiación descritos anteriormente. $\Delta T_{\text{Algoritmo},t}$ es una función de la velocidad angular ω , la presión neumática p en los cilindros del freno, los materiales y la geometría de los elementos de frenado y las condiciones ambientales.

10 La figura 6 ilustra ejemplos de cambios de temperatura T_1-T_{N+1} en las $N+1$ interfaces representadas en la figura 3, calculados utilizando el procedimiento anteriormente descrito para un disco de freno D en el que se ha considerado subdividir su banda F en $N=8$ elementos discretos.

En el gráfico principal de la figura 6 $T_1=T_{N+1}$, esto es $T_8=T_9$, una condición que puede considerarse razonablemente válida para una primera aproximación.

15 El gráfico principal de la figura 6 también muestra una línea horizontal que muestra la temperatura limitante asociada con el disco de freno. La "distancia" entre esta línea y la temperatura instantánea comprobada del disco de freno (en particular la temperatura de la interfaz "más caliente", esto es la temperatura T_1 de la interfaz correspondiente a la superficie de fricción entre disco y pastilla) proporciona una indicación del margen de temperatura disponible. Este margen de temperatura corresponde a un valor máximo de la velocidad de avance del tren y esto también permite evitar alcanzar la temperatura límite para el disco de freno con cualquier tipo de frenado.

20 La unidad de procesamiento ECU puede diseñarse para proporcionar al conductor del tren una indicación de este valor máximo permisible para la velocidad de avance a través de un dispositivo de representación visual y/o de control 13 (figura 5). La unidad de procesamiento ECU también puede diseñarse para iniciar (o provocar la iniciación de) la acción sobre la tracción del tren con vista a "imponer" el cumplimiento de la velocidad máxima calculada.

30 Con referencia nuevamente a la figura 6, el gráfico secundario que proporciona una comparación en el lado derecho indica el cambio en el valor máximo de temperatura T_1 correspondiente a la superficie de fricción entre disco y pastilla a medida que aumenta el desgaste del disco. Tal como se observará dicho valor máximo de temperatura T_1 aumenta progresivamente a medida que aumenta el desgaste del disco D .

35 La figura 8 muestra los cambios de las temperaturas T_1-T_9 en las nueve interfaces de los $N=8$ elementos en los que se considera que se subdivide la banda F de un semidisco $D1$ de un disco de freno en un proceso de acuerdo con la invención. Los gráficos de la figura 8, obtenidos mediante simulación por ordenador, se refieren a una condición operativa del tren (también simulada) ilustrada por los gráficos de la figura 7 en términos de velocidad de avance (figura 7, gráfico superior) y de frenado (fuerza normal intercambiada en la interfaz pastilla-disco; figura 7, gráfico inferior).

40 En el gráfico superior de la figura 7 la línea en negrita muestra el cambio en el valor de la velocidad máxima permitida para el tren, calculado en relación a la temperatura estimada del disco de freno.

En el gráfico de la figura 8, la línea de trazos muestra el cambio en la temperatura calculado utilizando el algoritmo descrito anteriormente con $N=1$, esto es contemplando el (semi)disco como un elemento único o "monobloque".

45 Con referencia nuevamente a la ecuación (12) puede ajustarse a una primera aproximación:

$$\bar{T}_{i,t} = (T_{i,t} + T_{i+1,t}) / 2 \quad (13)$$

50 donde $\bar{T}_{i,t=0}$ es la temperatura media inicial del i -ésimo elemento E_i de la banda F del disco D .

El grosor del material eliminado (del disco y/o la pastilla) por unidad de tiempo puede estimarse utilizando la siguiente fórmula empírica.

$$\dot{V} = k \cdot p_c^{e^3} \cdot v^{e^4} \cdot T^{e^5} \quad (14)$$

55 en donde las constantes k , e^3 , e^4 , e^5 pueden determinarse experimentalmente, p_c es la presión de contacto, v es la velocidad de deslizamiento entre el disco D y la pastilla P y T es la temperatura.

60 En el caso de perfiles de misión predeterminados (velocidad de avance y presión neumática en los cilindros de freno en relación con la distancia recorrida o el tiempo) para la distancia recorrida, es posible introducir en la memoria de la unidad de procesamiento los niveles de desgaste del disco D y/o de las pastillas P medidos en las pruebas de aprobación en el banco dinamométrico a diferentes velocidades de inicio del frenado y las fuerzas normales

aplicadas sobre el disco. En la implementación del algoritmo, como alternativa a la fórmula (14), es posible estimar el desgaste de los elementos de frenado D, P mediante una interpolación basada en los valores almacenados en la unidad de procesamiento.

5 El proceso de acuerdo con la invención tiene muchas posibles aplicaciones e incorpora muchas ventajas.

10 Con el proceso de acuerdo con la invención es posible por ejemplo llevar a cabo un diagnóstico remoto del disco, registrando su temperatura en relación con el tiempo o la distancia recorrida. Los sistemas de diagnóstico remotos también denominados sistemas telemétricos, son sistemas integrados que interconectan con los sistemas de comunicación a bordo del vehículo (por ejemplo MVP, FIP, CAN, CANOpen o ECHELON), con sistemas de transmisión de datos, esto es sistemas de comunicaciones de tipo GSM-R/GPRS o WI-FI, en los que pueden implementarse posibles sistemas para la comunicación de eventos/alarmas a través de SMS a tierra y a una "base principal".

15 El proceso también permite identificar un posible sobrecalentamiento repetido y/o prolongado, que podría ser peligroso para la integridad del disco de freno y que permite pronosticar por adelantado cuándo se alcanzará el límite de desgaste del disco y/o de las pastillas, cuándo podrían aparecer grietas y el riesgo de estriación en el disco y en la rueda.

20 A través de la diagnosis del disco de freno es posible pronosticar la vida útil del componente y planificar cualquier trabajo de mantenimiento en base a las condiciones operativas; esto conlleva una reducción en el LCC (Coste del Ciclo de Vida) y en los tiempos de parada.

25 El algoritmo utilizado en el proceso de acuerdo con la invención puede sencillamente parametrizarse para cada aplicación específica ajustando los valores correspondientes de los términos constantes.

30 En su versión más simple, esto es sin calcular el desgaste del disco de freno y de las pastillas, el proceso permite que el cálculo de la temperatura se ajuste a nuevas condiciones del disco de freno descubiertas durante un mantenimiento normal; después puede reparametrizarse el algoritmo.

35 En una realización variante el proceso comprende una comprobación cuando, tras haber estado en marcha el vehículo durante un periodo predeterminado de tiempo desde la última aplicación del freno neumático, la temperatura calculada por el algoritmo coincide con la temperatura ambiente detectada mediante un sensor a bordo.

40 A través del proceso de acuerdo con la invención puede calcularse el aumento de temperatura en diversos puntos en el disco de freno a partir de un valor inicial que cuando coincide con la temperatura ambiente puede leerse desde uno o más sensores de temperatura a bordo (p. ej. dispositivos medidores de la temperatura para controlar el clima en el vagón) y proporcionarse al algoritmo como una señal de entrada. Donde no está disponible un sensor de la temperatura ambiente, este valor también puede proporcionarse en forma de tablas, o puede detectarse cerca de los discos de freno a través de uno o más sensores de temperatura dedicados.

45 El proceso de acuerdo con la invención puede integrarse con una simulación del proceso de refrigeración del disco de freno según condiciones estacionarias (con el tren detenido, por ejemplo en las cocheras), durante un periodo de tiempo en el que la unidad de procesamiento ECU esté apagada, para estimar la temperatura de los discos de freno en el momento en el que se encienda de nuevo dicha unidad. Para periodos cortos durante los que dicha unidad esté apagada la temperatura de los discos no será igual que la temperatura ambiente cuando se encienda nuevamente la unidad y luego el valor se estimará durante la etapa de inicialización de la unidad después de que se haya encendido de nuevo o simulando del proceso de refrigeración de los discos por el efecto de los intercambios de calor por convección y/o radiación desde la última vez que se apagó la unidad hasta que se enciende de nuevo.

50 Convenientemente, aunque no necesariamente, el tren puede estar equipado con al menos un sensor para detectar la temperatura alcanzada en la superficie de fricción entre el disco y la pastilla, con el que es posible calibrar y comprobar el modelo simulando el comportamiento térmico de los elementos de frenado durante la etapa cuando se está ajustando el sistema.

55 El sistema también incluye un dispositivo capaz de anular una limitación en la tracción para asegurar que el progreso se mantenga invariable si esto es lo que desea el conductor.

60 Para implementar la versión más completa del proceso el algoritmo requiere pruebas experimentales preliminares para determinar los coeficientes de desgaste característicos. En este caso puede no resultar más necesaria la reparametrización dado que el propio algoritmo puede evaluar la reducción en las bandas F en relación con la presión aplicada, la velocidad de deslizamiento y la temperatura.

65 Adicionalmente a lo anteriormente descrito, a través del proceso de acuerdo con la invención también es posible indicar al conductor diversas cantidades tales como, por ejemplo, la temperatura instantánea de los discos de freno o la velocidad máxima por debajo de la que es posible llevar a cabo el frenado de emergencia sin causar daños a los

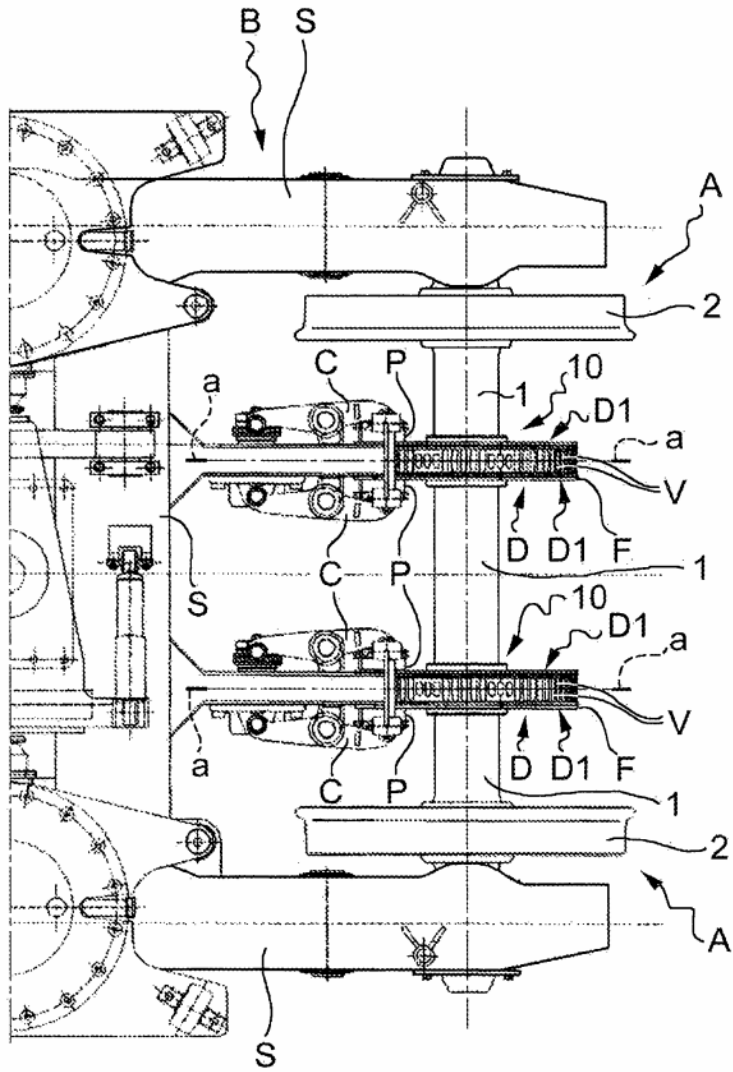
discos de freno y/o sobrecalentar las pastillas.

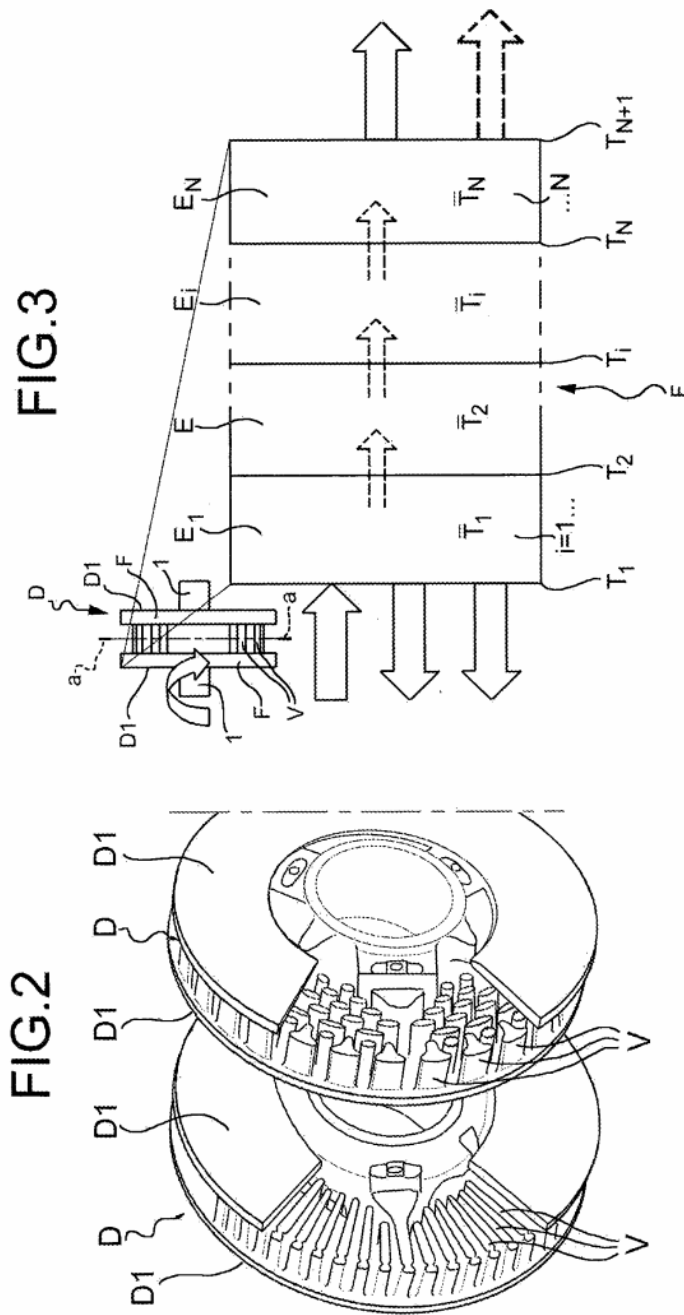
5 Naturalmente, mientras el principio de la invención siga siendo el mismo, las formas de realización y los detalles de construcción pueden variarse ampliamente con respecto a los descritos e ilustrados, que se han ofrecido meramente a modo de ejemplo no limitativo, sin por ello salir del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para comprobar la temperatura de un disco de freno (D) de un vehículo, en particular de un vehículo ferroviario o un tranvía, que actúa operativamente junto con al menos un elemento de freno (P) adaptado para ser puesto en contacto friccional con el disco (D) a través de un actuador asociado para asegurar el frenado del vehículo; comprendiendo el proceso las operaciones de:
- determinar la velocidad angular relativa entre el disco de freno (D) y el elemento de freno (P),
 - detectar la magnitud de la fuerza aplicada sobre el disco de freno (D) a través del efecto de activación del actuador,
 - calcular la energía mecánica convertida por fricción en calor cuando el disco (D) y el elemento de freno (P) entran en contacto de fricción;
 - calcular la energía térmica intercambiada entre el disco de freno (D) y el ambiente colindante,
 - calcular la energía térmica neta aplicada sobre el disco de freno (D) como diferencia entre la mencionada energía mecánica disipada por la fricción y la mencionada energía térmica intercambiada entre el disco de freno (D) y el ambiente, y
 - obtener una indicación cuantitativa de la temperatura del disco de freno (D) como una función de la energía térmica neta calculada;
- estando caracterizado el proceso por:
- calcular adicionalmente la energía térmica intercambiada entre el disco de freno (D) y al menos un elemento de frenado (P),
 - calcular la energía térmica neta aplicada en el disco de freno (D) como diferencia entre dicha energía mecánica disipada por la fricción y la energía térmica intercambiada entre el disco de freno (D) y dicho al menos un elemento de freno (P) y el ambiente,
 - estimar el grosor del material eliminado del disco de freno (D) por unidad de tiempo, y
 - obtener dicha indicación cuantitativa de la temperatura del disco de freno (D) como una función de la energía térmica neta así calculada, la masa y la capacidad térmica del disco de freno (D).
2. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la energía térmica neta aplicada en el disco de freno (D) se calcula utilizando un modelo físico/matemático unidimensional del disco de freno (D) de acuerdo con el que se considera la subdivisión del disco de freno (D) en una pluralidad (N) de elementos anulares adyacentes (E_1, \dots, E_N) de los que los situados en las extremidades (E_1, E_N) presentan una relación de intercambio térmico con el ambiente colindante y con un elemento discreto adyacente (E_2, E_{N-1}) y en los que los elementos intermedios (E_2-E_{N-1}) presentan una relación de intercambio térmico con los elementos adyacentes a los mismos, respectivamente.
3. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el correspondiente cambio de temperatura por el efecto de la energía térmica neta que penetra en cada uno de los mismos se calcula para cada uno de los mencionados elementos anulares discretos (E_1, \dots, E_N).
4. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el correspondiente cambio de temperatura por el efecto de los intercambios de calor por convección y radiación con el ambiente colindante y por el efecto de intercambio de calor por conducción con el elemento adyacente (E_2, E_{N-1}) se calcula para los elementos anulares terminales (E_1, E_N).
5. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el valor permisible máximo para la velocidad de avance del vehículo a la que todavía puede llevarse a cabo el frenado del vehículo sin alcanzar el valor límite predeterminado para la temperatura del disco de freno (D) también puede calcularse dinámicamente.
6. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los cambios de temperatura en el disco de freno (D) se calculan en base a un valor inicial obtenido mediante un sensor de temperatura ambiente utilizado con otros fines.
7. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que los cambios de temperatura en el disco de freno (D) se calculan a partir de datos almacenados en una memoria, por ejemplo en forma de tablas, representativos de la temperatura ambiente.

8. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que los cambios de temperatura en los discos de freno (D) se calculan en base a un valor inicial obtenido utilizando un sensor de temperatura dedicado cercano a un disco de freno.
- 5 9. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye una simulación de la refrigeración del disco de freno (D) en las condiciones en las que el vehículo está estacionario.
10. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 9, en el que se utiliza una unidad electrónica de procesamiento (ECU) y el valor de la temperatura del disco de freno (D) se estima cada vez que se enciende nuevamente la unidad (ECU) cuando el intervalo de tiempo desde que se apagó previamente la unidad (ECU) es inferior a un valor predeterminado.
- 10 11. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes que comprende una comprobación de que la temperatura calculada del disco de freno (D) coincide con la temperatura ambiente tras un tiempo predeterminado durante el que el vehículo ha estado en movimiento.
- 15 12. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 11, en el que la temperatura de la superficie de fricción entre el disco de freno y la pastilla se determina mediante un sensor y el valor hallado para la temperatura se utiliza para comprobar y calibrar el modelo de disco de freno anteriormente mencionado al menos durante una etapa de ajuste del proceso.
- 20





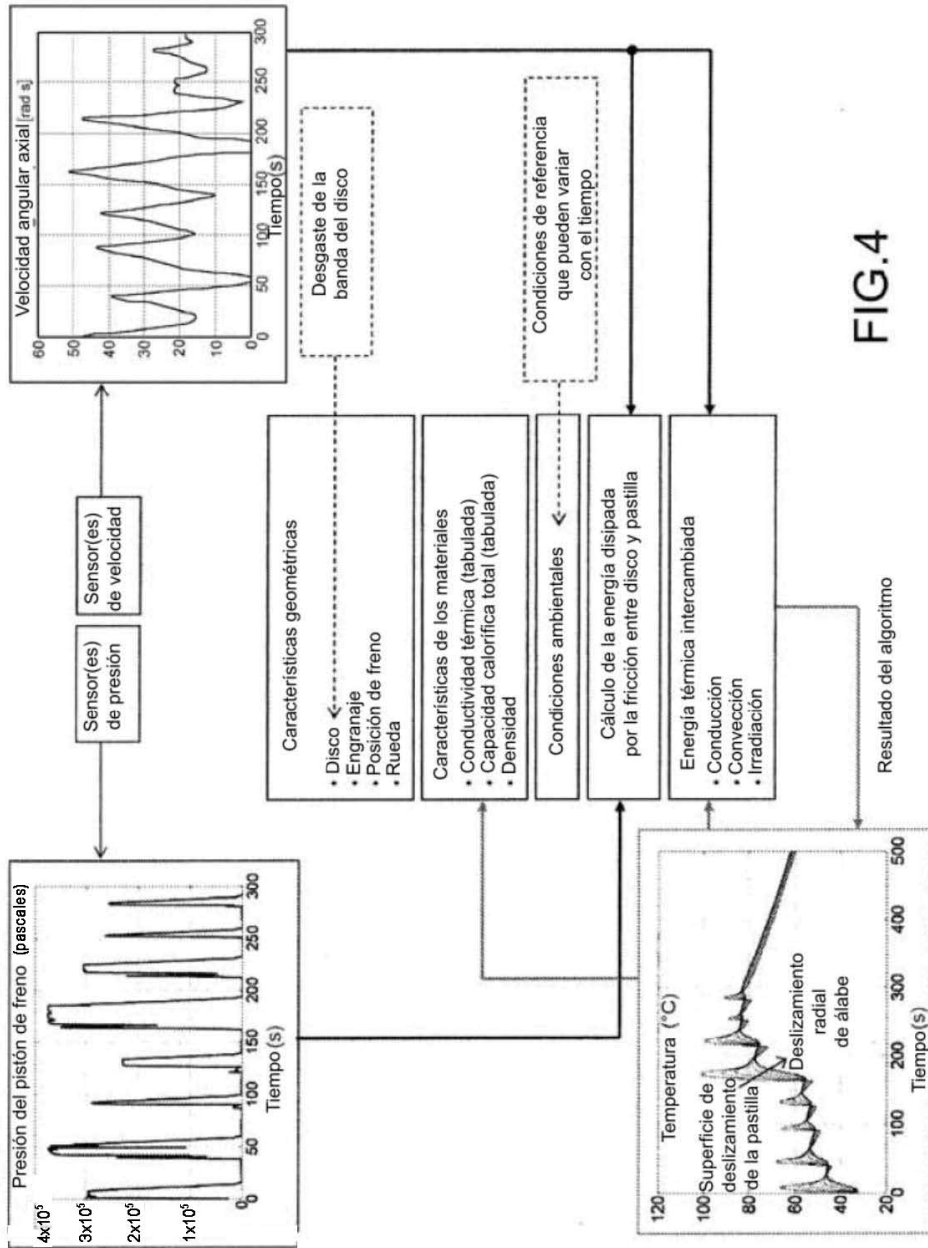
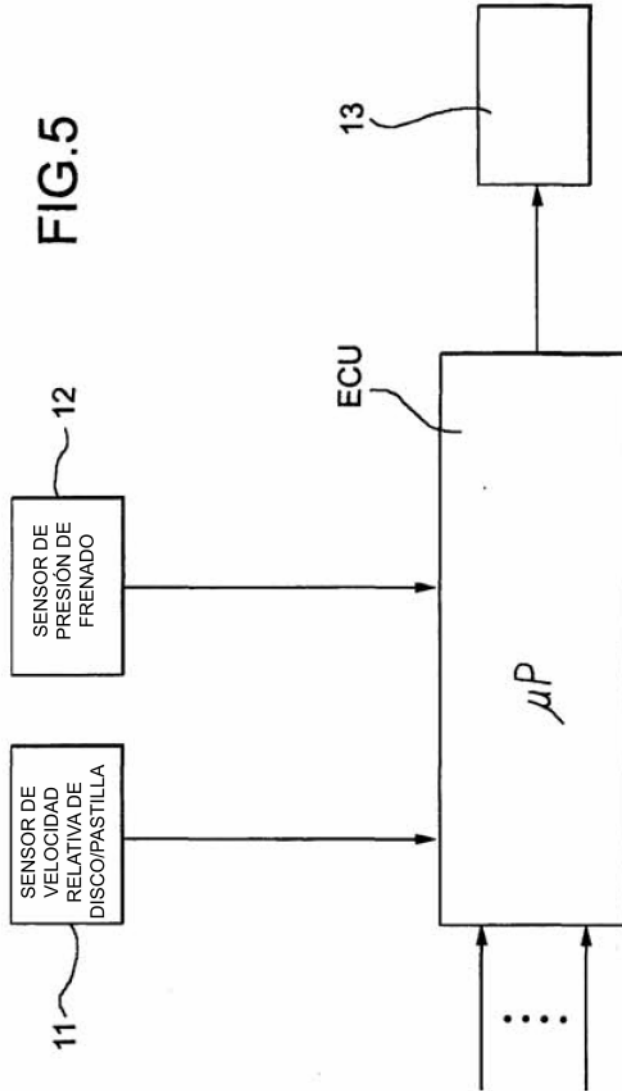


FIG.4

FIG.5



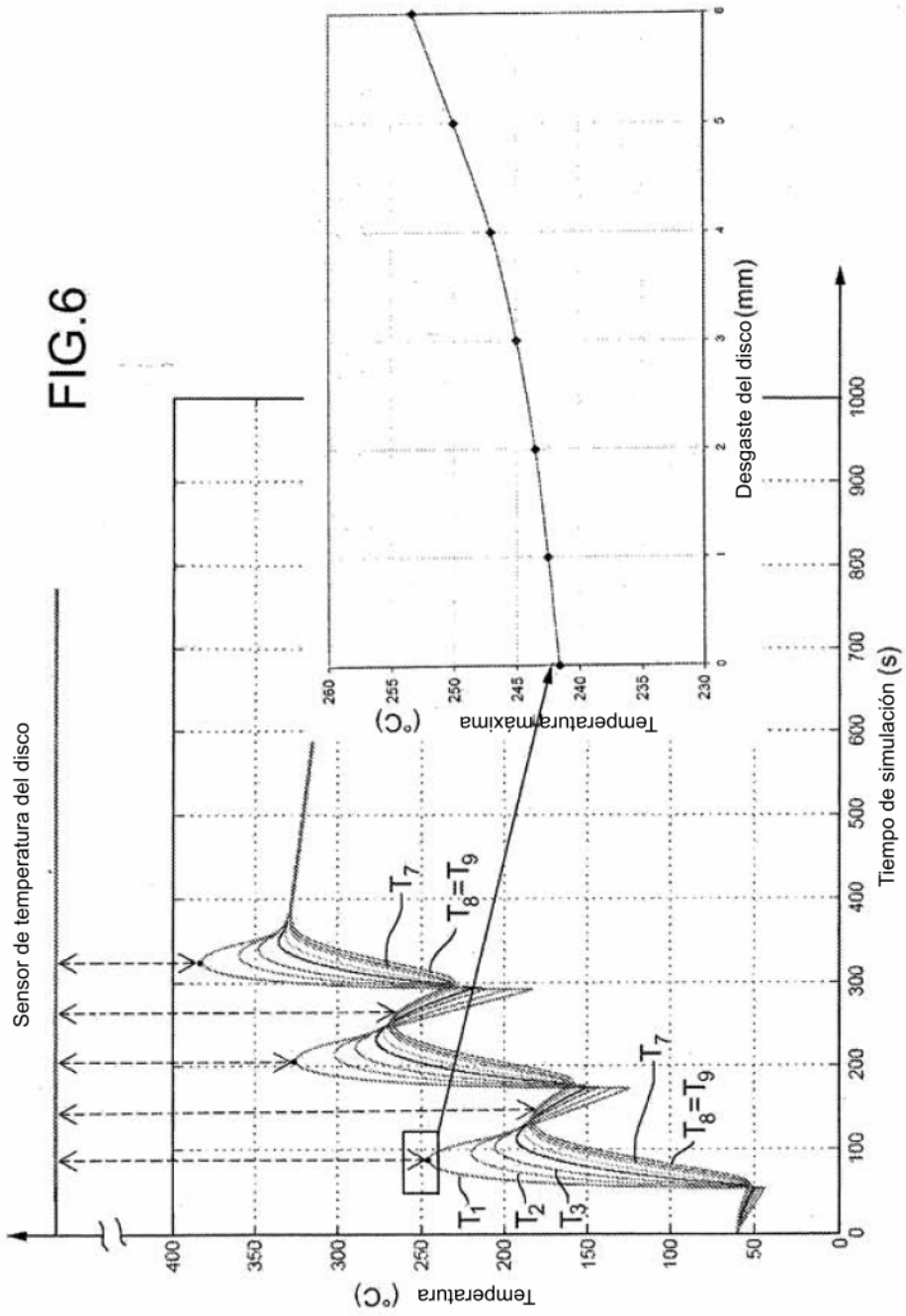


FIG.7

