

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 940 700**

51 Int. Cl.:

B60T 13/66 (2006.01)

B60T 17/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.11.2019** **PCT/IB2019/059778**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2020** **WO20100076**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2019** **E 19829675 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.01.2023** **EP 3880527**

54 Título: **Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario**

30 Prioridad:

15.11.2018 IT 201800010349

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

10.05.2023

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:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 940 700 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

Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario

5 Campo técnico

La presente invención generalmente se refiere al campo de los sistemas de frenado ferroviarios; en particular, la invención se refiere a un sistema de control de frenado para un vehículo ferroviario.

10 Técnica anterior

Los sistemas de frenado ferroviarios convencionales realizan diferentes funciones caracterizadas por el estado en el que se encuentra el vehículo ferroviario. Las dos funciones principales se conocen como "frenado de servicio" y "frenado de emergencia".

15 El frenado de servicio es el estado en el que el vehículo ferroviario se desacelera durante las etapas normales del servicio de funcionamiento. En este estado, el rendimiento de frenado debe estar garantizado con una probabilidad de fallo de menos de 10^{-7} . Este valor corresponde al nivel de integridad de seguridad SIL2 referido a la norma EN50126.

20 El frenado de emergencia es el estado en el que el tren debe garantizar el frenado dentro de una distancia de parada establecida por normas internacionales, con una probabilidad de no alcanzar el rendimiento normalmente igual a o menor de 10^{-9} . Este valor corresponde al nivel de integridad de seguridad SIL4 de la norma EN50126.

25 En lo que se refiere a la implementación del frenado de servicio, los sistemas de frenado relativos a los vehículos ferroviarios están ahora totalmente gestionados por controles electrónicos que interactúan con los sistemas de control de los motores de tracción, utilizados de manera regenerativa durante el frenado (freno electrodinámico), y con los TCMS, "sistemas de control y monitorización de trenes", para un intercambio continuo de información de diagnóstico y gestión en tiempo real de los modos de compensación para posibles funcionamientos defectuosos del sistema de freno de servicio o freno electrodinámico.

30 Tal realización que usa sistemas electrónicos ha aumentado considerablemente la comodidad de los pasajeros, por ejemplo, al garantizar variaciones de aceleración tolerables o al compensar dinámicamente la variación en los coeficientes de fricción de los materiales de fricción con velocidad variable, a la vez que se mantiene una desaceleración uniforme.

35 Por otro lado, estos sistemas de control de frenado de servicio electrónico se han vuelto cada vez más complejos, basados en arquitecturas de microprocesadores que soportan grandes cantidades de código de software vinculado no solo a procesos en tiempo real para la gestión del freno, sino también a la gestión de procesos de diagnóstico de todo el sistema de frenado y la gestión de protocolos de comunicación complejos, tales como Ethernet o MVB. Por este motivo, los principales operadores del sector prefieren usar soluciones puramente neumáticas durante la etapa de frenado de emergencia.

45 La emisión de la norma ferroviaria EN16185 es prueba de ello. Esta norma estandariza los sistemas de frenado que proporcionan dos canales neumáticos competitivos para pedir el frenado de emergencia.

50 El motivo de esta elección por parte de los operadores está relacionado con el alto coeficiente de seguridad intrínseco y la fiabilidad demostrada a lo largo del tiempo por las arquitecturas neumáticas y los componentes neumáticos usados, frente a la menor fiabilidad de los sistemas electrónicos. La menor fiabilidad está relacionada principalmente con la posible presencia de defectos de software de modo común que pueden producirse simultáneamente en todo el tren durante el frenado de emergencia, comprometiendo parcial o totalmente el logro de las distancias de parada.

55 Sin embargo, esta elección tecnológica está empezando a entrar en conflicto con las crecientes demandas de precisión en las distancias de parada durante el frenado de emergencia.

Los sistemas y componentes neumáticos están sujetos a imprecisiones provocadas por la dependencia de la temperatura de los resortes y los subcomponentes de caucho y su envejecimiento.

60 La norma europea adicional EN15611 impone límites estrictos en las tolerancias de los sistemas y componentes neumáticos mencionados anteriormente, de modo que son difíciles de lograr y de coste extremadamente alto.

En la figura 1 se muestra un ejemplo de un sistema de frenado neumático que integra frenado de servicio y frenado de emergencia, conocido por el experto en la técnica.

65 La presión en la tubería 101 general está modulada por la llave 102 de freno en un intervalo variable de

presiones de entre 5 bar y 3,5 bar, en el que 5 bar es el valor que representa una petición de frenado de cero y el valor de 3,5 bar el que representa el frenado de servicio máximo.

Un botón 103 de emergencia descarga la tubería general por debajo de valores inferiores a 3,5 bar que representan la petición de frenado de emergencia. Una válvula 104 de distribución modula la presión en su salida en función de la presión en la tubería 101 general, según el diagrama mostrado en la figura 2.1.

Para un valor de presión de tubería general igual a 5 bar, la presión de salida a la válvula 104 de distribución es cero y corresponde a una petición de frenado de cero.

Para valores de presión en la tubería general de entre 5 bar y 3,5 bar, la presión de la válvula de salida varía linealmente entre 0 bar y 3,8 bar; siendo 3,8 bar el valor de presión correspondiente al frenado de emergencia.

Para presiones de la tubería general por debajo de 3,5 bar, la presión de la válvula de salida se mantiene en 3,8 bar, o en el valor de presión correspondiente al frenado de emergencia

El botón 103 de emergencia tiene la finalidad de descargar la tubería general llevando la presión por debajo del valor de 3,5 bar mucho más rápido que la llave de freno, acelerando el paso desde el estado de frenado de servicio hasta el estado de frenado de emergencia.

La válvula 105 de vacío-carga, también conocida por los expertos como VCAV, de la definición francesa "Vide-Charge Auto-Variable", tiene la finalidad de corregir la presión enviada al cilindro 106 de freno según el peso que soporta el vehículo, según la característica mostrada en la figura 2.2.

La finalidad de esta última función es limitar la presión según la adhesión disponible considerada en la fase de diseño del vehículo, dicho de otro modo, proporcionar la máxima presión de frenado posible más allá de la cual se superaría la fuerza de agarre disponible. Superar la fuerza de adhesión disponible provocaría el bloqueo de los ejes con la consiguiente planitud de las ruedas y la pérdida de fuerza de frenado debido a la transición desde la fricción de rodadura hasta la fricción de arrastre de las propias ruedas.

La válvula 104 de distribución y la válvula 105 de vacío-carga, esquematizadas respectivamente en la figura 3 y la figura 4, son componentes neumáticos extremadamente complejos.

En particular, con cada nueva aplicación, la válvula 105 de vacío-carga requiere el rediseño de las partes internas, tales como por ejemplo la carga de los resortes o la razón de la báscula de plataforma, teniendo que reajustarse a los nuevos intervalos de peso entre tara y carga completa del vehículo y de la adhesión disponible para la propia aplicación.

Además, es habitual tener diferentes configuraciones de subcomponentes de las válvulas 105 de vacío-carga para el mismo tren al variar el intervalo de tara-carga completa entre los diversos vehículos que constituyen el propio tren, por ejemplo, entre automóviles y vagones de remolque.

Finalmente, durante la etapa de puesta en marcha del tren, las continuas peticiones de recalibración implican la sustitución frecuente de los propios subcomponentes, hasta que se alcanza una configuración correcta.

La implementación de sistemas electrónicos para aplicaciones ferroviarias está regulada actualmente por las siguientes normas ferroviarias europeas:

- EN50126 "Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS). Requisitos básicos y proceso genérico"
- EN50128 "Aplicaciones ferroviarias – Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento - Software para sistemas de control y protección de ferrocarril";
- EN50129 "Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización".

En particular, la norma EN50126 define la metodología para la asignación de los niveles de seguridad SIL0/1/2/3/4 a los subsistemas basándose en los resultados del Análisis de Seguridad, y las normas EN50128 y EN50129 definen los criterios de diseño que han de aplicarse a los componentes de software y hardware respectivamente basándose de los niveles SIL asignados.

Basándose en la aplicación de las normas citadas anteriormente, pueden expresarse las siguientes afirmaciones y conceptos:

- los sistemas electrónicos usados para la realización de la función de frenado de servicio pueden fabricarse en

general según las disposiciones dictadas por las normas mencionadas anteriormente, limitando dicha realización a niveles de seguridad no superiores a SIL2;

- los sistemas electrónicos usados para la realización de la función de frenado de emergencia pueden fabricarse según las prescripciones dictadas por las normas mencionadas anteriormente, restringiendo dicha realización a niveles de seguridad no inferiores a SIL3.

Es técnica anterior hacer que los sistemas electrónicos cumplan con los niveles $SIL \leq 2$ para el control de frenado de servicio; por el contrario, es muy complejo y oneroso desarrollar y mantener sistemas electrónicos que cumplan con los niveles $SIL \geq 3$.

La razón entre la complejidad de desarrollo y el coste de la certificación entre los sistemas $SIL \leq 2$ y los sistemas $SIL \geq 3$ normalmente oscila entre 1:20 y 1:40.

Además, los Organismos Notificados de Seguridad y las Agencias Nacionales de Seguridad no aceptan la coexistencia de módulos de software desarrollados en diferentes niveles SIL ejecutados por la misma arquitectura de Hardware, ni módulos de software de nivel $SIL \geq 3$ ejecutados por arquitecturas de hardware $SIL \leq 2$ para arquitecturas electrónicas que deben alcanzar un nivel SIL general ≥ 3 .

Por tanto, es evidente que no es conveniente el desarrollo de arquitecturas electrónicas individuales que puedan proporcionar simultáneamente la función de frenado de servicio, la función de frenado de emergencia, las funciones de diagnóstico, otras funciones, ya que estas arquitecturas deben implementarse según los niveles $SIL \geq 3$ en su totalidad, con alto gasto de recursos económicos y largo tiempo de desarrollo.

La patente WO2018189693 propone una solución al problema mencionado anteriormente reivindicando un sistema de control electrónico de frenado de emergencia y de servicio para un vehículo ferroviario diseñado para generar una presión de frenado correspondiente a la mayor entre una señal de presión de frenado de servicio, procedente de un módulo de frenado de servicio, y una señal de presión de frenado de emergencia.

Sin embargo, la solución propuesta por el documento WO2018189693 no cubre los casos en los que el sistema de control de deslizamiento se desactiva durante el frenado de emergencia.

Tal como se describió anteriormente, el frenado de emergencia requiere el cumplimiento de los niveles generales de seguridad SIL4 según la norma EN50126. Como consecuencia, se sabe que generalmente los dispositivos que contribuyen al logro del frenado de emergencia, si se desarrollan a través de tecnología electrónica, deben someterse a niveles de seguridad $SIL \geq 3$ según las normas EN50128 y EN50129.

Los sistemas antideslizantes actuales usan algoritmos muy complejos, por ejemplo, tal como se describe en los documentos EP3393873, WO2017175108 y EP1874601, que son difíciles de lograr adoptando los métodos recomendados por la norma EN50128, niveles de seguridad $SIL > 3$. Esto implica la petición por parte de algunas Agencias Europeas de Seguridad Ferroviaria de inhibir los dispositivos antideslizamiento durante el frenado de emergencia, a pesar de que estos dispositivos antideslizamiento pueden contribuir a reducir las distancias de parada en caso de degradación del agarre.

En esta configuración, se elige reducir la presión de frenado de emergencia aceptando una mayor distancia de parada con respecto al frenado de servicio, con el fin de reducir el riesgo de desencadenar deslizamientos que debido a la inhibición del sistema antideslizamiento darían lugar al inevitable bloqueo de las ruedas.

La patente WO2018189693, que propone implementar siempre la mayor entre la presión de frenado de servicio y la presión de frenado de emergencia, puede no cumplir en determinados casos el requisito de aplicar una presión de frenado de emergencia inferior a la presión de frenado de servicio.

Sumario de la invención

Por tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema electrónico de control de frenado para un vehículo ferroviario que permita separar e independizar la función de frenado de emergencia de la función de frenado de servicio y de las demás funciones accesorias, garantizando el aislamiento total de las partes que se ajustan a niveles $SIL \geq 3$ de las partes que se ajustan a niveles $SIL \leq 2$, al tiempo que haga converger la realización de las presiones de frenado en un único actuador común, reduciendo así el coste de desarrollo, instalación y mantenimiento de un sistema de control de frenado ferroviario completamente electrónico.

Claramente, el control del frenado del vehículo ferroviario se refiere tanto al control del frenado de servicio como al control del frenado de emergencia.

Además, el sistema de control favorece la aplicación de presión de frenado de emergencia durante la petición de

frenado de emergencia.

Los objetos y ventajas anteriores y otros se logran, según un aspecto de la invención, mediante un sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario que tiene las características definidas en las reivindicaciones independientes. Las realizaciones preferidas de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán las características funcionales y estructurales de algunas realizaciones preferidas de un sistema electrónico de control de frenado de un vehículo ferroviario según la invención. Se hará referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 ilustra de manera simplificada un sistema de frenado neumático que integra frenado de servicio y de emergencia, conocido por el experto en la técnica; a efectos de simplificación, no se muestran los tanques principal y auxiliares, así como las funciones accesorias no necesarias para la ejemplificación;
- la figura 2.1 ilustra la función de transferencia de entrada-salida de una válvula de distribución;
- la figura 2.2 ilustra una curva que emula funcionalmente una válvula 105 de vacío-carga, en la que el término carga de choque indica un estado inusual de carga de pasajeros;
- la figura 3 ilustra esquemáticamente una válvula de distribución;
- la figura 4 ilustra la sección de una válvula de vacío-carga;
- la figura 5 ilustra una realización de un sistema electrónico de control de frenado para un vehículo ferroviario;
- la figura 6 ilustra una segunda realización del módulo de frenado de emergencia;
- la figura 7 ilustra una tercera realización del módulo de frenado de emergencia; y
- la figura 8 ilustra cualitativamente una curva del nivel de adhesión entre rueda y raíl en función del coeficiente de adhesión y la velocidad del vehículo.

Descripción detallada

Antes de explicar en detalle una pluralidad de realizaciones de la invención, debe señalarse que la invención no se limita en su aplicación a los detalles de construcción y a la configuración de los componentes presentados en la siguiente descripción o mostrados en los dibujos. La invención puede adoptar otras realizaciones e implementarse o llevarse a cabo en la práctica de diferentes maneras. También debe entenderse que la fraseología y terminología tienen un fin descriptivo y no deben interpretarse como limitativas. El uso de "incluir" y "comprender" y variaciones de los mismos pretende incluir los elementos citados a continuación y sus equivalentes, así como elementos adicionales y equivalentes de los mismos.

A lo largo de la presente descripción, el término "módulo" se refiere preferiblemente a un módulo que puede implementarse por medio de una arquitectura electrónica de hardware-software, el término "submódulo" indica preferiblemente un submódulo dentro del cual pueden implementarse funciones, implementadas a su vez a través de software o hardware controlado por dicho software. El software puede ejecutarse, por ejemplo, mediante microprocesadores o mediante FPGA.

En las figuras, las líneas que conectan los diversos submódulos dentro de un módulo deben entenderse preferiblemente como señales eléctricas o variables de software.

El sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según la invención se caracteriza por que incluye un módulo 501 de frenado de emergencia (MÓDULO DE FRENO DE SEGURIDAD) y un módulo 507 de frenado de servicio (MÓDULO DE FRENO DE SERVICIO) incluyendo cada uno una arquitectura electrónica dispuesta para generar un valor de presión de frenado, siendo dichas arquitecturas electrónicas independientes y estando separadas entre sí.

El módulo 507 de frenado de servicio está dispuesto para recibir al menos una señal 530 de petición de desaceleración o frenado de servicio y para generar una señal 535 de presión de frenado de servicio respectiva. El módulo 501 de frenado de emergencia está conectado a dicho módulo 507 de frenado de servicio a través de un canal 536 de comunicación para recibir dicha señal 535 de presión de frenado de servicio.

Dicho módulo 501 de frenado de emergencia está dispuesto para recibir al menos una señal indicativa de una

petición de frenado de emergencia y para generar una señal de presión de frenado intermedia respectiva indicativa de un frenado 523 de emergencia.

5 El módulo 501 de frenado de emergencia también está dispuesto para generar una señal 524 de control de presión de frenado correspondiente a la señal 535 de presión de frenado de servicio, cuando la mayor entre la una o más señales 605 de presión de frenado intermedias indicativas de un frenado 523 de emergencia es menor que un valor 529 de presión umbral predeterminado.

10 El módulo 501 de frenado de emergencia también está dispuesto para generar una señal 524 de control de presión de frenado correspondiente a la mayor entre la una o más señales 605 de presión de frenado indicativas de un frenado 523 de emergencia, cuando la mayor entre la una o más señales 605 de presión de frenado intermedias indicativas de frenado 523 de emergencia es igual o mayor que el valor 529 de presión umbral predeterminado.

15 Además, el módulo 501 de frenado de emergencia también está dispuesto para convertir dicha señal 524 de control de presión de frenado en una presión de frenado mediante el control de un actuador 506 electroneumático.

20 En una realización mostrada en la figura 5, el módulo 507 de frenado de servicio incluye un submódulo para calcular una presión 508 de frenado de servicio que recibe una petición 530 de desaceleración o frenado de servicio generada por ejemplo por un manipulador del freno (DEMANDA DE PALANCA DE FRENO) a través de una señal 530 de petición de desaceleración o frenado de servicio, y el peso del vehículo (PESO) a través de una primera señal 522 de peso.

25 Dicha primera señal 522 de peso es, por ejemplo, pero no exclusivamente, el valor de presión adquirido procedente de las suspensiones o una tensión eléctrica derivada de un sensor de posición del cuerpo con respecto al bogie.

30 El submódulo de cálculo de una presión 508 de frenado de servicio realiza en tiempo real el cálculo de un valor de presión necesario para el frenado de servicio correspondiente a la petición 530 de desaceleración o frenado de servicio mencionada anteriormente, y genera una señal 535 de presión de frenado de servicio respectiva que tiene un valor correspondiente al valor de presión necesario para el frenado de servicio calculado.

35 El valor de presión requerido para el frenado de servicio se obtiene combinando, por ejemplo, pero no exclusivamente, dicha primera señal 530 de petición de desaceleración o frenado de servicio y dicha primera señal 522 de peso, por medio de una función adecuada conocida por el experto en la técnica, similar a la mostrada en la figura 2.2.

40 Una segunda señal 531 de petición de desaceleración o frenado de servicio, procedente de un TCMS 532, también puede transmitirse al submódulo de cálculo de una presión 508 de frenado de servicio desde un submódulo 509 de comunicación.

45 El submódulo 509 de comunicación gestiona todos los protocolos de comunicación hacia el tren, por ejemplo, pero no exclusivamente, hacia el TCMS 532 y hacia un sistema 533 de tracción.

50 Pueden estar presentes otros submódulos incluidos en el bloque 510 discontinuo. Por ejemplo, pero no exclusivamente, submódulos de gestión de entrada/salida, para gestionar y almacenar información 534 de diagnóstico y gestión de visualización, submódulos de comunicación para herramientas de diagnóstico, y otros submódulos no relacionados con el frenado de emergencia conocidos normalmente por el experto en la técnica.

55 El módulo 507 de frenado de servicio y el módulo 501 de frenado de emergencia usan un canal 536 de comunicación, de tipo o bien por cable o bien inalámbrico, para intercambiar información entre sí.

El canal 536 de comunicación puede ser o bien "de punto a punto" o bien compartido con otros módulos, no dedicados necesariamente a funciones de frenado del vehículo. Dichos módulos adicionales no se muestran en la figura 5.

El canal 536 de comunicación puede consistir, por ejemplo, en un bus.

60 La información, y en particular la señal 535 de presión de frenado de servicio, se transfiere desde el módulo 507 de frenado de servicio hasta el módulo 501 de frenado de emergencia, por ejemplo, pero no exclusivamente, según el conceso de canal de comunicación "*black channel*" tal como se expresa en la norma europea "EN50159: Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Comunicación relacionada con la seguridad en sistemas de transmisión". El canal 536 de comunicación también puede implementarse por medio de líneas cableadas del tipo analógico, por ejemplo, pero no exclusivamente en tensión o corriente o PWM, o mediante codificación digital en múltiples hilos.

En el módulo 501 de frenado de emergencia, un submódulo de cálculo de una primera función 502 de transferencia recibe al menos una señal indicativa de una petición de frenado de emergencia.

5 En esta realización, la al menos una señal indicativa de una petición de frenado de emergencia es una señal 520 de frenado neumático que indica la presión de control de un sistema de frenado del vehículo, por ejemplo, una señal de presión adquirida de manera adecuada correspondiente al valor de presión de la tubería de freno (ya indicado con 101 en la figura 1), cuyo intervalo de valores incluye al menos un valor correspondiente a un frenado de emergencia.

10 El valor correspondiente a un frenado de emergencia puede ser, por ejemplo, un valor que supere un umbral predeterminado. El término supera puede entenderse como en el caso en el que el valor es mayor que el umbral predeterminado o el caso en el que el valor es menor que el umbral predeterminado.

15 El submódulo de cálculo de una primera función 502 de transferencia calcula la función de transferencia de la curva mostrada en la figura 2.1, emulando funcionalmente una válvula 104 de distribución, incluyendo las subfunciones conocidas por los expertos como control de tanque y comportamientos relacionados frente a las acciones de sobrecarga y disposición.

20 El submódulo de cálculo de una primera función 502 de transferencia suministra por tanto a su salida una señal 521 de presión de válvula de distribución, cuyo valor virtual puede corresponder a un valor de presión de entre 0 bar y 3,8 bar según la emulación de la válvula 104 de distribución.

25 Dicha señal 521 de presión de frenado de válvula de distribución se suministran en entrada a un submódulo de cálculo de una segunda función 503 de transferencia, junto con una segunda señal 528 de peso de vehículo ("PESO") correspondiente al valor del peso del vehículo adquirido.

30 La señal de presión de la tubería de freno y la segunda señal 528 de peso del vehículo se adquieren según procesos de SIL ≥ 3 , por ejemplo, pero no exclusivamente, a través de canales y sensores redundantes y diagnosticados mutuamente.

35 En una realización alternativa, la segunda señal 528 de peso del vehículo puede transmitirse a través del canal 536 de comunicación al submódulo 508 de petición de desaceleración o frenado que usará dicha segunda señal 528 de peso de vehículo en lugar de adquirir la primera señal 522 de peso.

El submódulo de cálculo de una segunda función 503 de transferencia calcula la función de transferencia de la curva mostrada en la figura 2.2, realizando la emulación de la válvula 105 de vacío-carga.

40 La salida del submódulo de cálculo de una segunda función 503 de transferencia es una señal de presión de frenado intermedia indicativa de un frenado 523 de emergencia que representa el valor virtual de la presión de frenado neumático que debe enviarse al cilindro de freno, después de un frenado realizado a través de la modulación de las señales de presión de la tubería de freno. El intervalo de valores que puede adoptar la señal de presión de la tubería de freno incluye un valor correspondiente al valor del frenado de emergencia. Dicho valor se representa preferiblemente por el valor máximo que puede alcanzarse por el frenado neumático, es decir por la señal de presión de frenado intermedia indicativa de un frenado 523 de emergencia.

50 El submódulo 504 de selección de presión de frenado de emergencia de dos entradas recibe como entrada la señal de presión de frenado intermedia indicativa de un frenado 523 de emergencia producida por el submódulo de cálculo de una segunda función 503 de transferencia y la señal 535 de presión de servicio correspondiente al valor de presión de frenado de servicio producido por el submódulo de cálculo de una presión 508 de frenado de servicio dentro del módulo 507 de frenado de servicio.

55 El submódulo 504 de selección de presión de frenado de emergencia de dos entradas realiza una función de selección. En particular, el submódulo 504 de selección de presión de frenado de emergencia de dos entradas propaga en salida la señal de presión virtual correspondiente a la señal 535 de presión de servicio cuando la señal de presión de frenado intermedia indicativa de un frenado 523 de emergencia es menor que un valor 529 de presión umbral predeterminado, y propaga en salida la señal de presión virtual correspondiente a la señal de presión de frenado intermedia de un frenado 523 de emergencia cuando la señal de presión de frenado intermedia indicativa de un frenado 523 de emergencia es igual a o mayor que el valor 529 de presión umbral predeterminado.

El valor 529 umbral predeterminado puede representarse por un valor disponible en el código del módulo 501 de frenado de emergencia.

65 La señal 524 de control de una presión de frenado se propaga entonces a un submódulo 505 de control de presión que se encarga de gestionar un actuador 506 electroneumático a través de señales eléctricas

bidireccionales apropiadas, transformando la señal 524 de control de una presión de frenado en entrada al módulo 505 en presión real en entrada al cilindro 527 de freno.

Un experto en la técnica conoce los elementos adicionales típicos de un sistema de frenado ferroviario, relacionados con el actuador 506 electroneumático, tal como tanques auxiliares o sistemas de control antideslizamiento, no mostrados en la figura 5 puesto que no están relacionados estrictamente con el contenido de la presente invención.

La solución propuesta destaca la independencia funcional y decisional del módulo 501 de frenado de emergencia del módulo 507 de frenado de emergencia de servicio.

Si el módulo 501 de frenado de emergencia se desarrolla según criterios de $SIL \geq 3$, la probabilidad de que una petición de frenado neumático, que incluye al menos una señal indicativa de una petición de frenado de emergencia correspondiente al valor máximo del frenado neumático, no se aplique al cilindro 527 de freno está dentro de los criterios normalmente aceptados para un sistema neumático tradicional equivalente, a menores costes y mayor precisión.

Además, ante cualquier tipo de fallo de hardware o software que pueda producirse en el módulo 507 de frenado de servicio, el submódulo 504 de selección de presión de frenado de emergencia de dos entradas del módulo 501 de frenado de emergencia favorecerá en cualquier caso la petición de frenado de emergencia, que siempre está llevando el sistema global a un estado seguro.

Esta solución permite por tanto el desarrollo del módulo 507 de frenado de servicio según niveles de seguridad $SIL \leq 2$ como se produce en la técnica anterior, sin por ello aumentar los costes de desarrollo y los costes recurrentes del producto, manteniendo inalterado el rendimiento funcional.

La figura 6 ilustra una segunda realización del módulo 501 de frenado de emergencia. El módulo 501 de frenado de emergencia, desarrollado en su totalidad según criterios de $SIL \geq 3$, replica al menos parte de lo descrito en la realización anterior, pero también incluye un submódulo 602 de asignación de presión de frenado de emergencia preestablecida. El submódulo 602 de asignación de presión de frenado de emergencia preestablecido recibe como entrada una segunda señal indicativa de una petición de frenado de emergencia. La segunda señal indicativa de una petición de frenado de emergencia, en esta realización, es una señal 604 indicativa de una petición de frenado de emergencia procedente, por ejemplo, pero no exclusivamente, de un bucle eléctrico de emergencia.

Por bucle eléctrico de emergencia, por ejemplo, se indica un circuito eléctrico que puede detectar una condición de frenado de emergencia y generar en consecuencia una señal 604 que indica una petición de frenado de emergencia.

En caso de una petición de emergencia por parte de la señal 604 que indica una petición de frenado de emergencia procedente del bucle eléctrico de emergencia, el submódulo 602 de asignación de presión de frenado de emergencia preestablecida impone un valor de presión virtual preestablecido a una señal 605 de presión de frenado de emergencia respectiva.

En lugar del submódulo 504 de selección de presión de frenado de emergencia de dos entradas, se incluye un submódulo 606 de selección de presión de frenado de emergencia de tres entradas que realiza una función de selección.

En particular, el submódulo 606 de selección de presión de frenado de emergencia de tres entradas:

a) propaga en salida la señal de presión virtual correspondiente a la señal 535 de presión de servicio cuando la mayor entre la señal 605 de presión de frenado de emergencia procedente del bucle eléctrico de emergencia y la señal de presión de frenado intermedia indicativa de un frenado 523 de emergencia es menor que un valor 529 de presión umbral predeterminado; y

b) propaga en salida la mayor entre la señal 605 de presión de frenado de emergencia procedente del bucle eléctrico de emergencia y la señal de presión de frenado intermedia indicativa de un frenado 523 de emergencia cuando la mayor entre la señal 605 de presión de frenado de emergencia procedente del bucle eléctrico de emergencia y la señal de presión de frenado intermedia indicativa de un frenado 523 de emergencia es igual a o mayor que el valor 529 de presión umbral predeterminado.

La señal de control de una presión 607 de frenado procedente del submódulo 606 de selección de presión de frenado de emergencia de tres entradas se propaga entonces al submódulo 505 de control de presión que se encarga de gestionar el actuador 506 electroneumático a través de señales 525 eléctricas bidireccionales apropiadas, transformando la señal de control de una presión 607 de frenado virtual en entrada al módulo 505 en presión real en entrada al cilindro 527 de freno.

Pueden crearse diversas combinaciones por medio de los submódulos del módulo 501 de frenado de emergencia, por ejemplo, modulando el valor de la señal 605 de presión de frenado de emergencia con el valor de la señal 528 de peso de vehículo por medio de un segundo del submódulo de cálculo de una segunda función 503 de transferencia antes de enviar dicho valor de la señal 605 de presión de frenado de emergencia al submódulo 606 de selección de tres entradas.

En una realización no mostrada, la al menos una señal indicativa de una petición de frenado de emergencia puede ser sólo una y pue ser sólo la señal 604 indicativa de una petición de frenado de emergencia procedente, por ejemplo, pero no exclusivamente, de un bucle eléctrico de emergencia.

En otra realización no exclusiva, el módulo 501 de frenado de emergencia puede no usar la señal de presión de la tubería del freno, sino solo la señal 605 de presión del freno de emergencia, modulada o no por la señal 528 de peso.

Una extensión de lo que se describe en la figura 5 y la figura 6 se muestra en la figura 7, en la que se usa un freno regenerativo electrodinámico durante el frenado de emergencia.

El control de tracción consiste actualmente en inversores basados en arquitecturas de DSP (procesador digital de señales) no adecuados para desarrollarse según criterios de SIL ≥ 3 .

Por tanto, es imposible confiar la petición de frenado de emergencia directamente a los sistemas de tracción a menos que el control de tracción se monitorice de manera continua con un sistema de SIL ≥ 3 durante el frenado de emergencia.

La figura 7 ilustra una tercera realización del módulo 501 de frenado de emergencia, desarrollado en su totalidad según los criterios de SIL ≥ 3 .

Un submódulo 702 de decisión, también denominado "módulo de mezcla", tiene la función de decidir si la señal de control de una presión 607 de frenado procedente del submódulo 606 de selección de presión de frenado de emergencia de tres entradas debe realizarse neumáticamente por medio del submódulo 505 de control de presión y el submódulo del actuador 506 electroneumático o si debe transformarse de manera adecuada en una señal 703 de petición de par de frenado y enviarse a los sistemas de tracción (no mostrados) directamente a través del canal 536 de comunicación o propagarse a través del módulo 507 de frenado de servicio.

El submódulo 702 de decisión recibe información continua sobre el valor de la señal de par de frenado de los motores 704 detectada por un medio 705 sensor de par adecuado. El medio 705 sensor de par, que consiste, por ejemplo, pero no exclusivamente, en transformadores para medir las corrientes generadas por los motores en regeneración o de transductores de par reales aguas abajo de los motores, se desarrolla según criterios de SIL ≥ 3 , por ejemplo, a través de canales redundantes y diagnosticados mutuamente.

De este modo, el trayecto completo desde la medición del par electromotor de frenado aguas arriba del medio 705 sensor de par hasta la decisión de cómo gestionar el par de frenado del submódulo 702 de decisión es según los requisitos SIL ≥ 3 .

En presencia de la señal 607 de control de presión de frenado procedente del submódulo 606 de selección de presión de frenado de emergencia de tres entradas, el submódulo 702 de decisión transmite la petición de par equivalente al sistema de tracción, mide la respuesta real a través del medio 705 sensor de par, y si el valor resultante es menor que el valor requerido, compensa inmediatamente la cantidad faltante solicitándola al submódulo 505 de control de presión y al submódulo del actuador 506 electroneumático.

Dicho de otro modo, el módulo 501 de frenado de emergencia genera un par de frenado que requiere par de frenado electrodinámico, monitoriza de manera continua el par de frenado electrodinámico por medio del sensor 705 de par y compensa cualquier deficiencia parcial o total de par de frenado electrodinámico a través de la producción de par de frenado neumático.

Por tanto, la solución ilustrada garantiza la gestión y aplicación del frenado de emergencia en el nivel SIL ≥ 3 parcial o totalmente a través del sistema de frenado electrodinámico regenerativo, independientemente del hecho de que dicho sistema de frenado electrodinámico regenerativo y los sistemas a través de los cuales el submódulo transmite la señal 703 de petición de par de frenado al sistema de tracción, están desarrollados según criterios de SIL ≤ 2 .

También se describe una realización adicional adecuada para gestionar el frenado de emergencia en condiciones de alta velocidad.

Se sabe que el nivel de adhesión entre rueda y raíl disminuye a medida que aumenta la velocidad según una ley establecida cualitativamente en la figura 8.

5 Una señal de velocidad del vehículo 706, adquirida a través de un canal de SIL ≥ 3 , por ejemplo, pero no exclusivamente, mediante el medio 707 sensor de velocidad para hacer rotar las ruedas redundantes y diagnosticadas mutuamente, se adquiere por el submódulo 702 de decisión que limitará la petición de par electrodinámico de frenado y/o la presión de frenado dependiendo de la curva de la figura 8 mapeada previamente en el submódulo 702 de decisión.

10 De este modo, el módulo 501 de frenado de emergencia puede corregir una presión de frenado cuando el agarre disponible varía según la velocidad del vehículo.

15 Un experto en la técnica conoce el hecho de que el módulo de frenado de servicio, en todas sus posibles realizaciones, puede implementarse dentro del dispositivo de TCMS y comunicarse con el módulo de frenado de emergencia a través del canal 536 de comunicación.

Un experto en la técnica también conoce que el sistema de accionamiento puede ser del tipo hidráulico en lugar del tipo neumático.

20 Por ejemplo, pero no necesariamente, el módulo 507 de frenado de servicio se realiza dentro de otros sistemas a bordo del tren.

25 Además, el módulo 501 de frenado de emergencia puede comprender más de un grupo que incluye un submódulo 505 de control de presión y un actuador 506 electroneumático para controlar independientemente varios cilindros de freno, según la arquitectura característica del vehículo.

30 En las realizaciones descritas anteriormente, el módulo 501 de frenado de emergencia puede diseñarse según los requisitos de SIL ≥ 3 de la norma EN50128 y de SIL ≥ 3 de la norma EN50129 SIL, y el módulo 507 de frenado de servicio puede desarrollarse según los requisitos de SIL ≤ 2 de la norma EN50128 y de SIL ≤ 2 de la norma EN50129.

35 En particular, el módulo 501 de frenado de emergencia puede realizarse según arquitecturas redundantes basadas en microprocesador, o mediante dispositivos programables redundantes, por ejemplo, pero no exclusivamente, FPGA, o de nuevo mediante un microprocesador y una FPGA.

40 Se han descrito diversos aspectos y realizaciones de un sistema electrónico de control de frenado de un vehículo ferroviario según la invención. Se entiende que cada realización puede combinarse con cualquier otra realización. Además, la invención no se limita a las realizaciones descritas, sino que puede variarse dentro del alcance definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo (500) ferroviario, que incluye un módulo (501) de frenado de emergencia y un módulo (507) de frenado de servicio incluyendo cada uno una arquitectura electrónica dispuesta para generar un valor de presión de frenado, siendo dichas arquitecturas electrónicas independientes y estando separadas entre sí;
estando dispuesto el módulo (507) de frenado de servicio para recibir al menos una señal (530) de petición de desaceleración o frenado de servicio y para generar una señal (535) de presión de frenado de servicio respectiva;
estando conectado el módulo (501) de frenado de emergencia a dicho módulo (507) de frenado de servicio a través de un canal (536) de comunicación para recibir dicha señal (535) de presión de frenado de servicio;
estando dispuesto el módulo (501) de frenado de emergencia para recibir al menos una señal indicativa de una petición de frenado de emergencia y para generar una señal de presión de frenado intermedia respectiva indicativa de un frenado (523, 605) de emergencia;
caracterizado porque dicho módulo (501) de frenado de emergencia está dispuesto para:
 - generar una señal (524) de control de presión de frenado correspondiente a la señal (535) de presión de frenado de servicio, cuando la mayor entre la una o más señales de presión de frenado intermedias indicativas de un frenado (523, 605) de emergencia es menor que un valor (529) de presión umbral predeterminado;
 - generar una señal (524) de control de presión de frenado correspondiente a la mayor entre la una o más señales de presión de frenado intermedias indicativas de un frenado (523, 605) de emergencia, cuando la mayor entre la una o más señales de presión de frenado intermedias indicativas de frenado (523, 605) de emergencia es igual o mayor que el valor (529) de presión umbral predeterminado; y
 - convertir dicha señal (524) de control de presión de frenado en una presión de frenado mediante el control de un actuador (506) electroneumático.
2. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según la reivindicación 1, en el que la al menos una señal indicativa de una petición de frenado de emergencia es una señal (520) indicativa de la orden de presión de un sistema de frenado del vehículo, del cual al menos un valor extremo es indicativo de una condición de frenado de emergencia.
3. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según la reivindicación 1 ó 2, en el que la al menos una señal indicativa de una petición de frenado de emergencia es una señal (604) procedente de un bucle eléctrico de emergencia.
4. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo (501) de frenado de emergencia está diseñado según los requisitos $EN50128\ SIL \geq 3$ y $EN50129\ SIL \geq 3$.
5. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo (507) de frenado de servicio está diseñado según los requisitos $EN50128\ SIL \leq 2$ y $EN50129\ SIL \leq 2$.
6. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo (501) de frenado de emergencia modula al menos una señal indicativa de una petición de frenado de emergencia con una señal (528) de peso del vehículo.
7. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo (507) de frenado de servicio modula la señal de petición de desaceleración o frenado de servicio con una señal (522) de peso del vehículo.
8. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo (507) de frenado de servicio se realiza dentro de otros sistemas de control a bordo del tren.
9. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo (501) de frenado de emergencia está conectado a un medio (705) sensor de par de frenado electrodinámico.

10. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según la reivindicación 9, en el que dicho medio (705) sensor de par del par de frenado electrodinámico y su gestión están diseñados según los requisitos EN50128 SIL ≥ 3 y

5 11. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según la reivindicación 9 ó 10, en el que dicho módulo (501) de frenado de emergencia genera un par de frenado al requerir un par de frenado electrodinámico, monitorizando de manera continua el par de frenado electrodinámico por medio de dicho medio (705) sensor de par, y compensa una posible deficiencia de par por medio de la producción de par de frenado neumático.

10 12. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho módulo (501) de frenado de emergencia corrige una presión de frenado según la adhesión disponible en función de la velocidad del vehículo.

15 13. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho canal (536) de comunicación es un canal inalámbrico.

20 14. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que dicho canal (536) de comunicación lo realiza un bus.

25 15. Sistema de control electrónico del frenado de un vehículo ferroviario según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que dicho canal (536) de comunicación puede obtenerse mediante un procedimiento que usa soluciones de fila cableada.

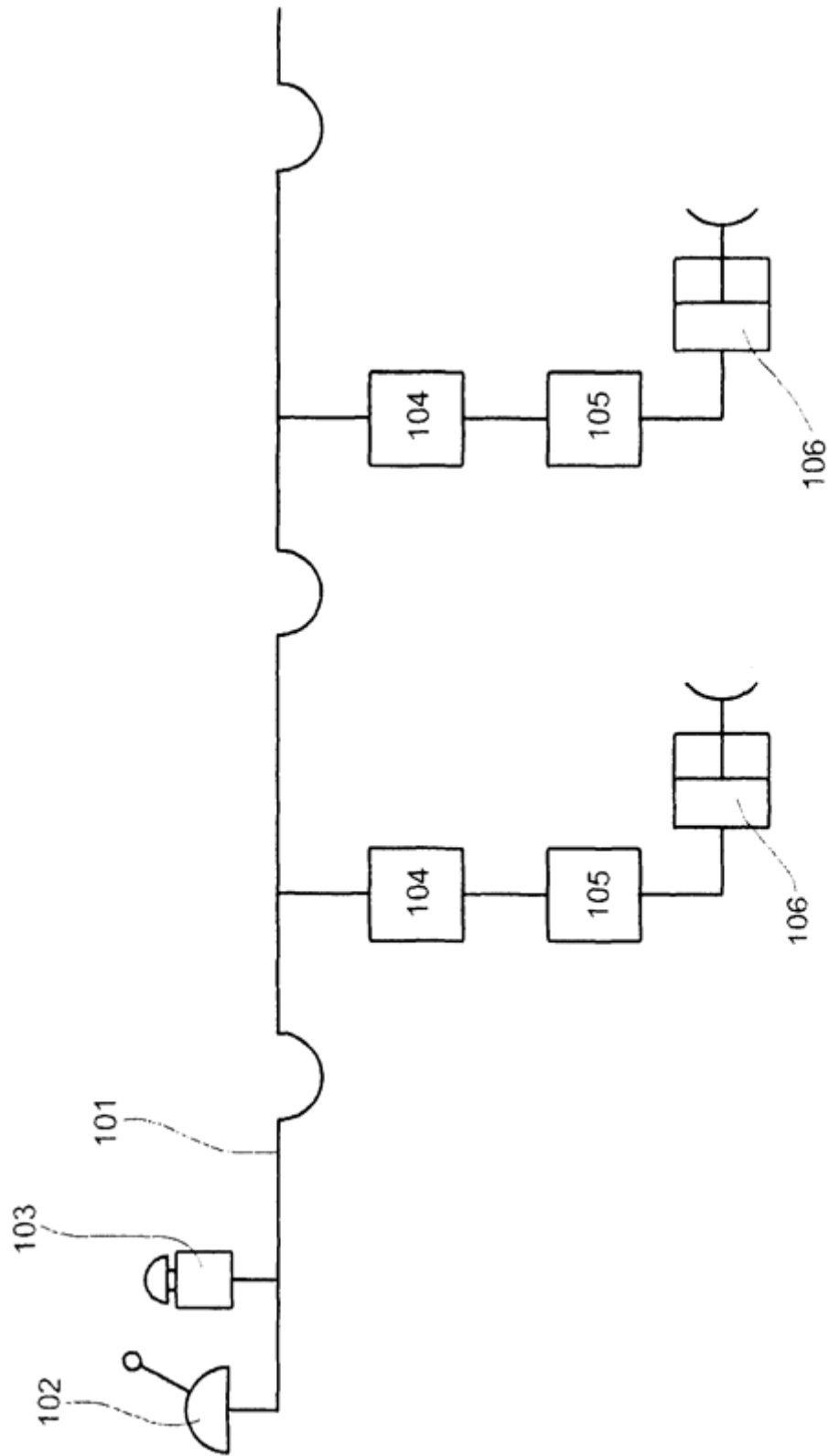


FIG.1
(TÉCNICA ANTERIOR)

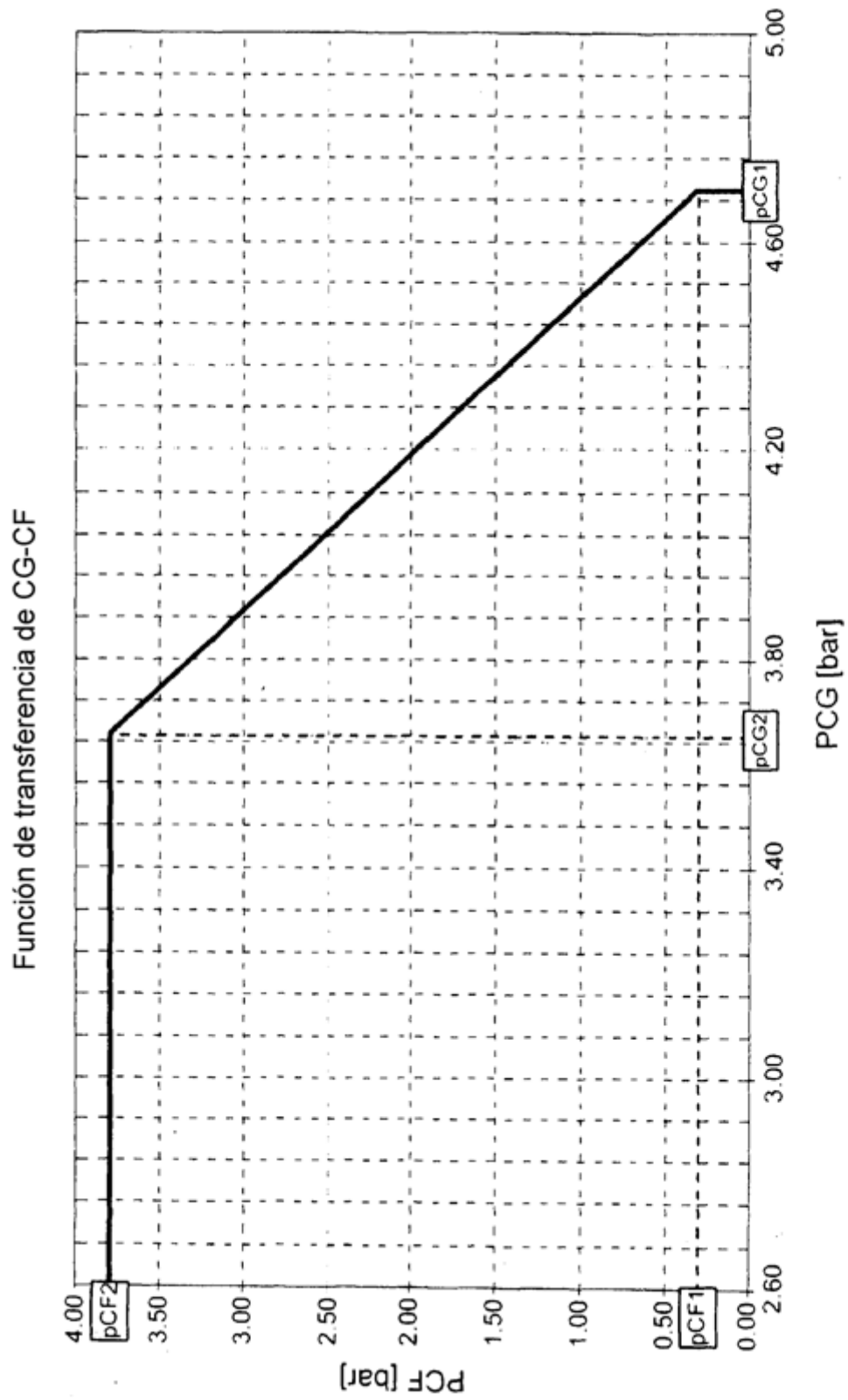


FIG.2.1

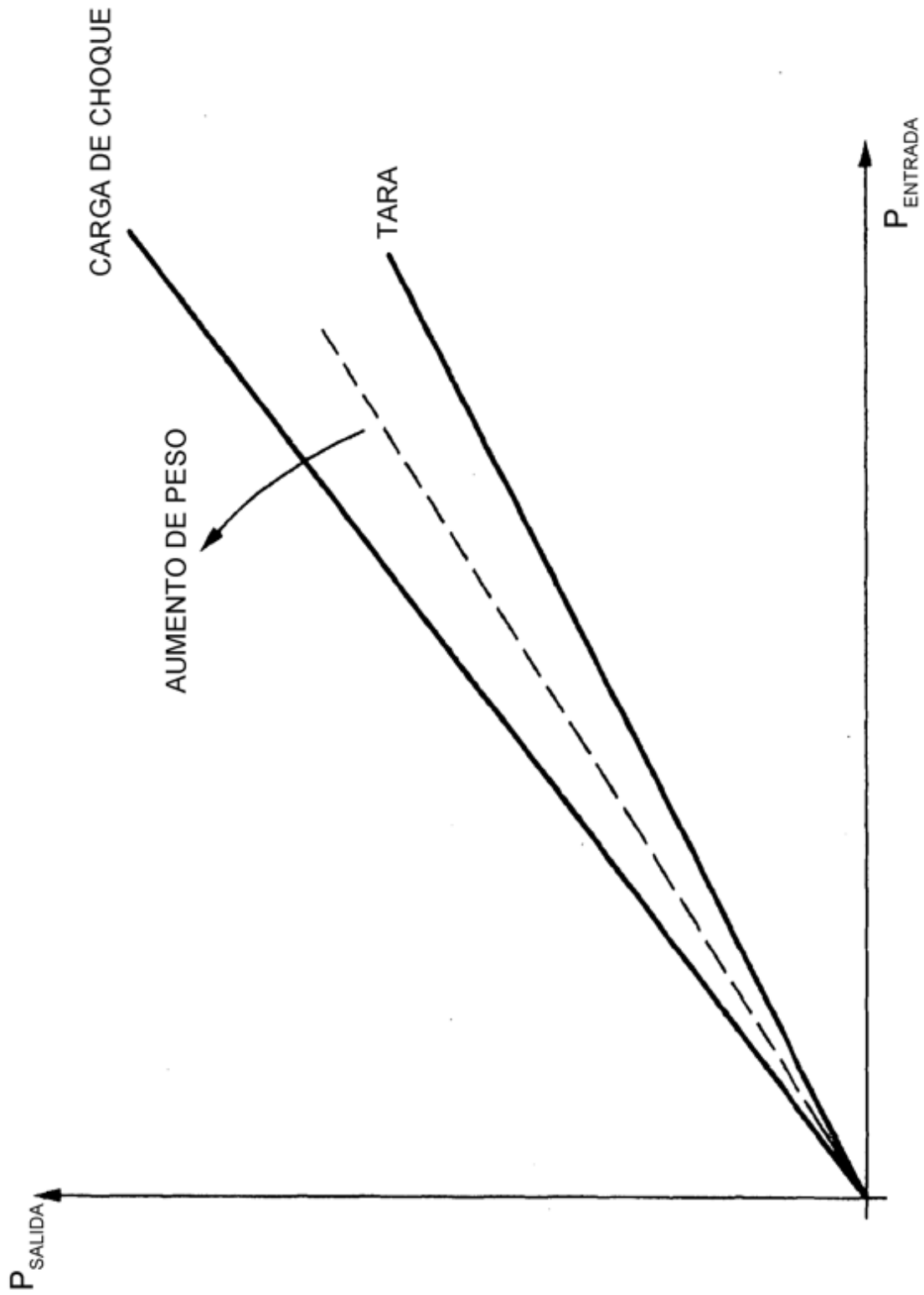


FIG.2.2

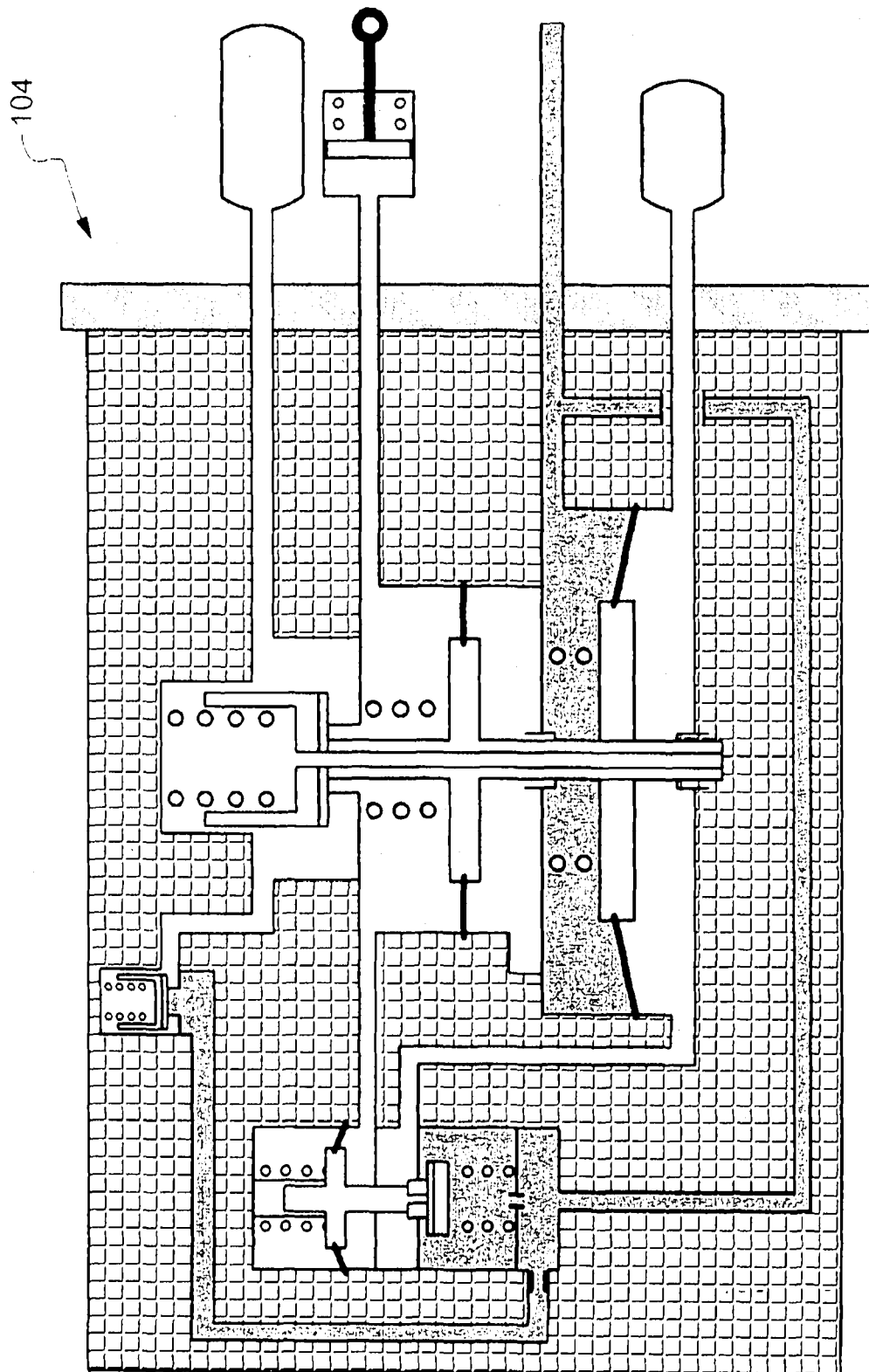


FIG.3

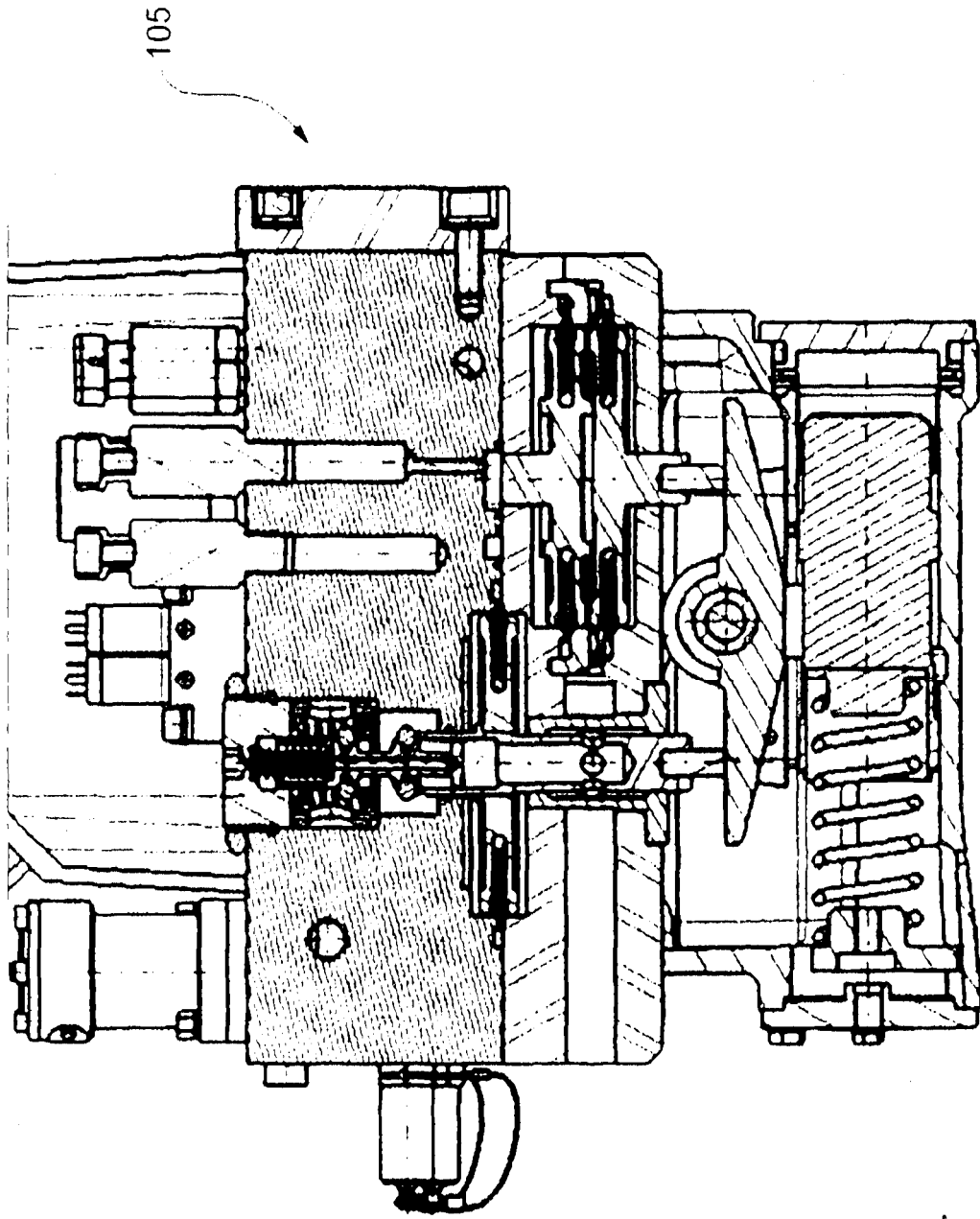
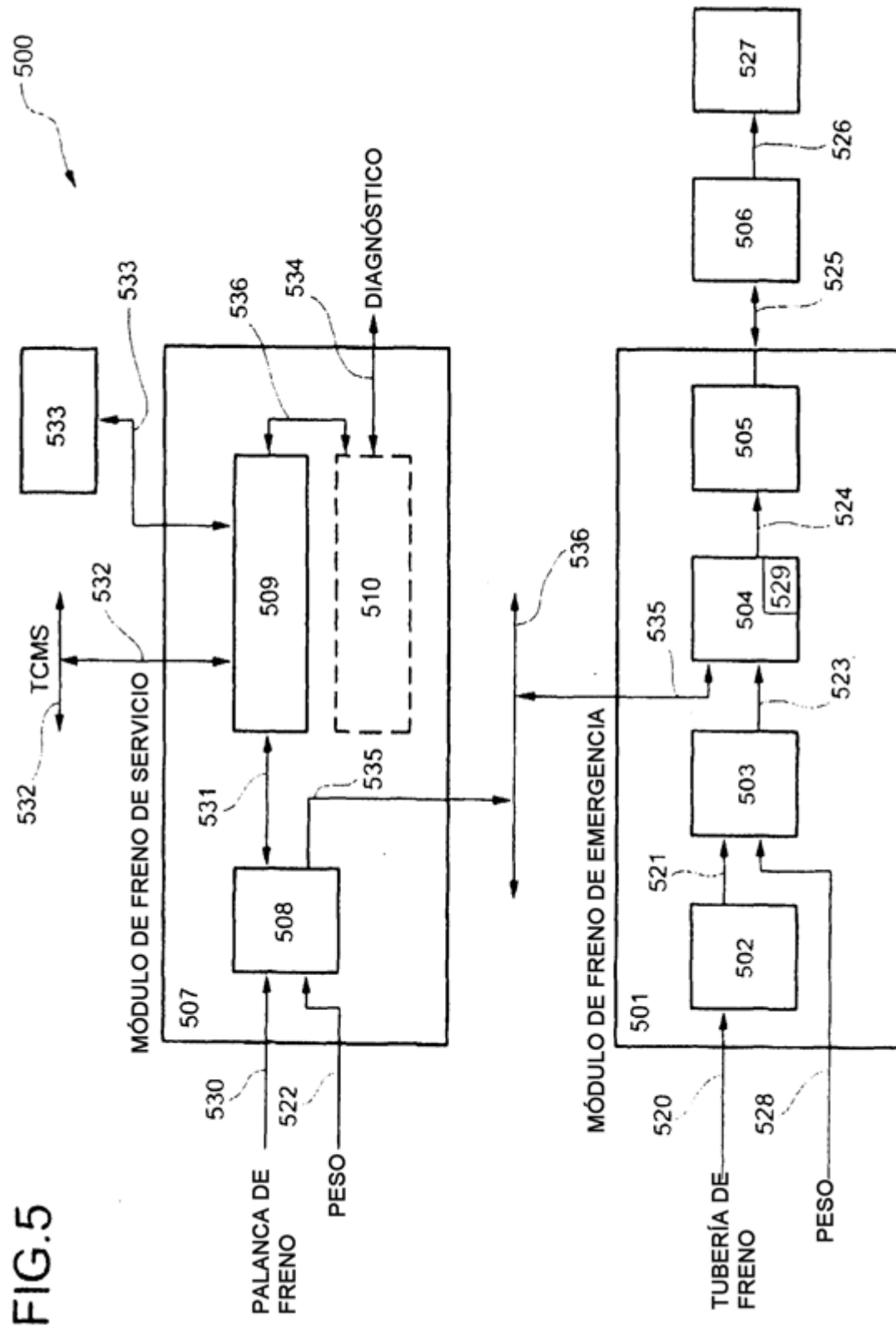


FIG.4



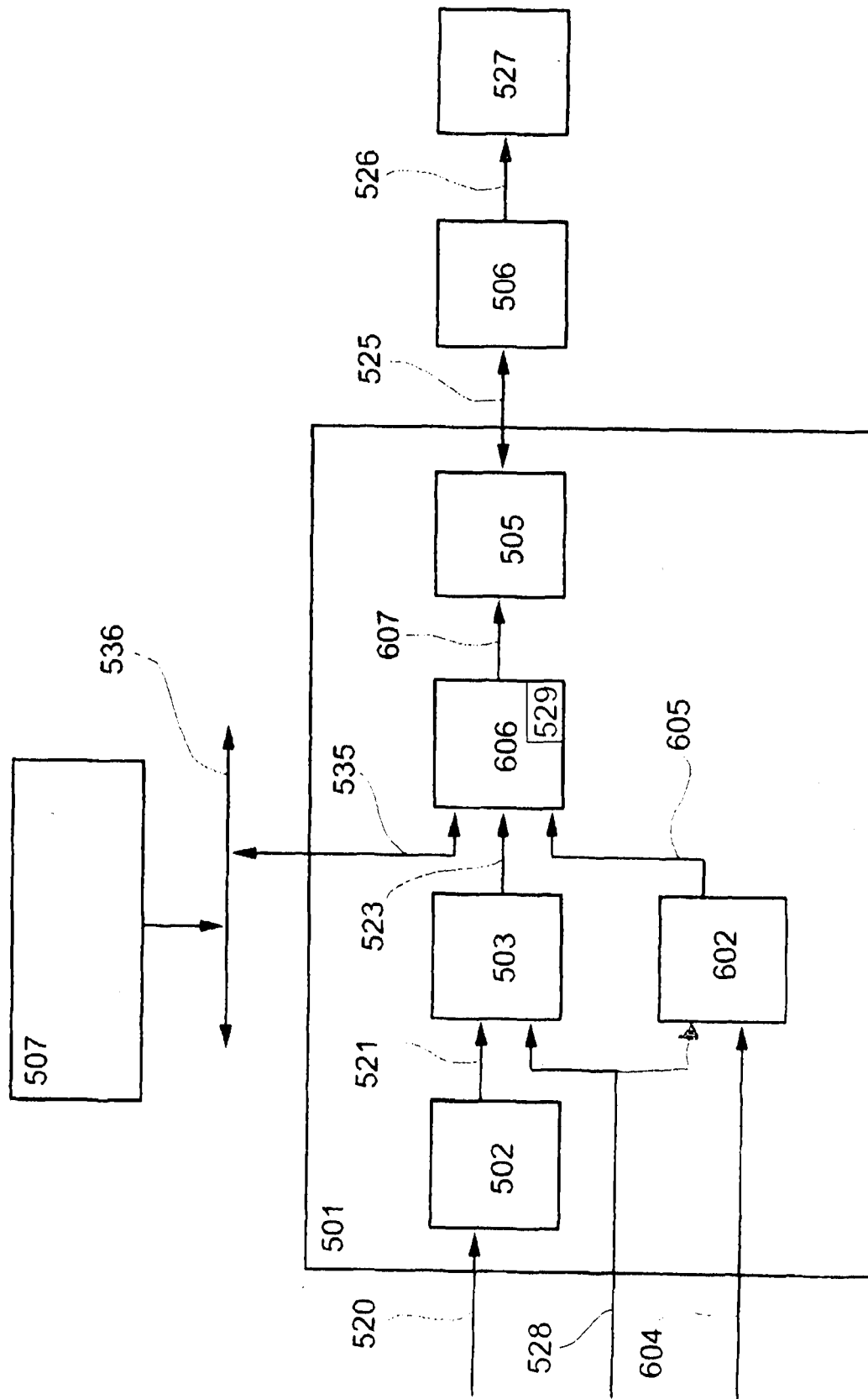


FIG.6

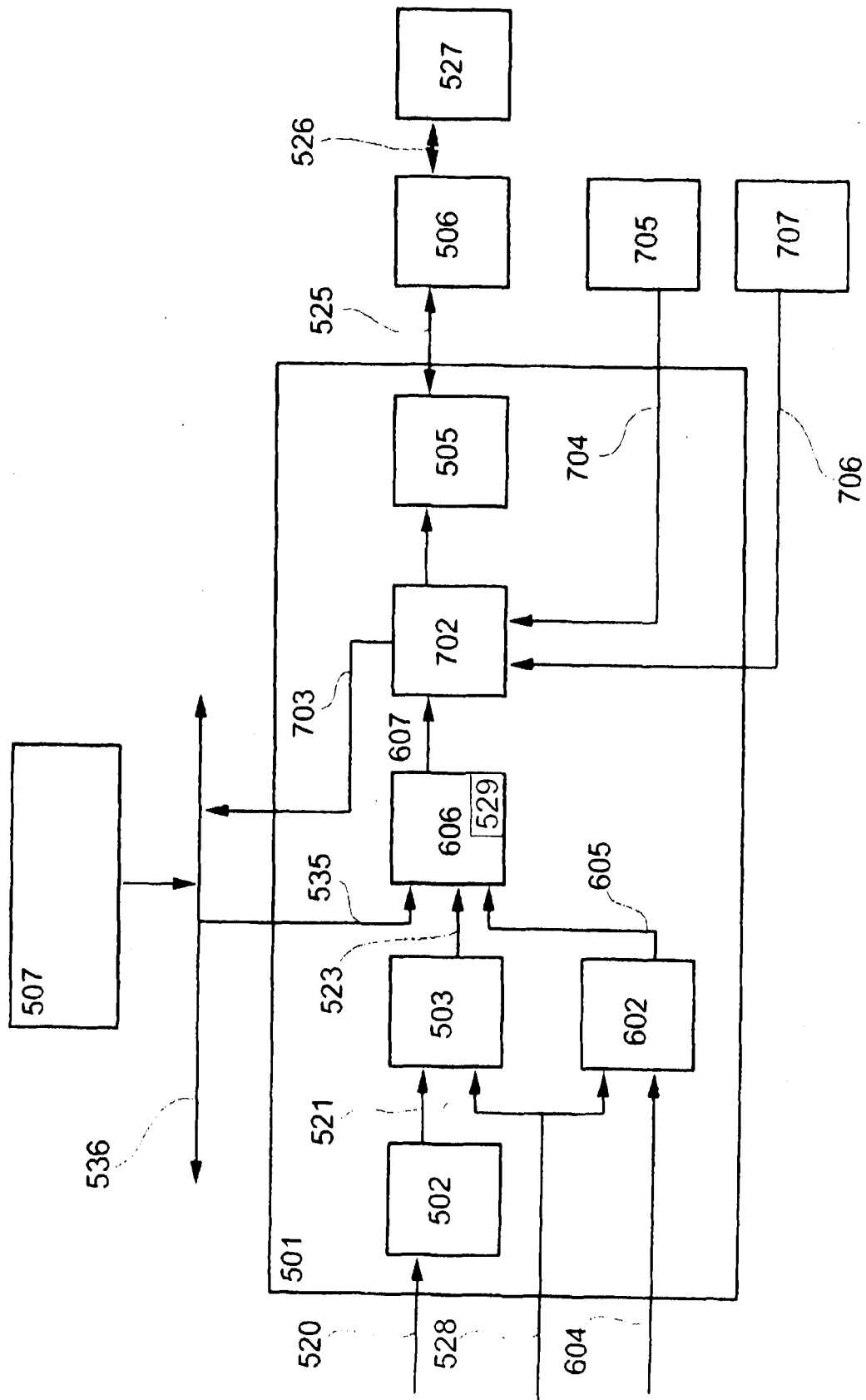


FIG. 7

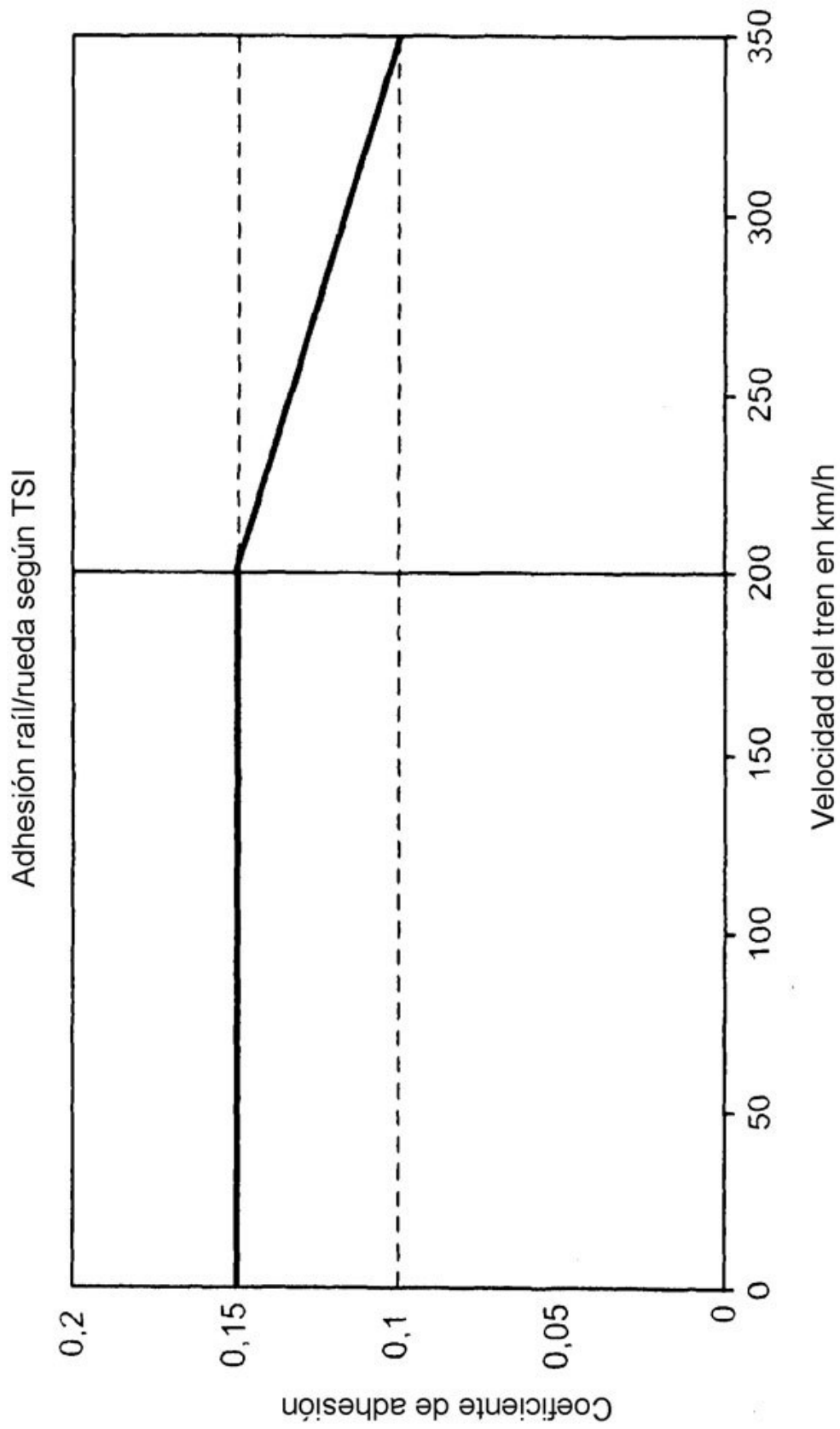


FIG.8