

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 495**

51 Int. Cl.:

F01N 11/00 (2006.01)

F01N 3/20 (2006.01)

F01N 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.02.2012 PCT/EP2012/000558**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2012 WO12110210**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.02.2012 E 12702992 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 2676017**

54 Título: **Procedimiento para la determinación basada en el modelo de la distribución de temperatura de una unidad de postratamiento de gases de escape**

30 Prioridad:

16.02.2011 DE 102011011426
27.05.2011 DE 102011103346

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.01.2020

73 Titular/es:

MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH (100.0%)
Maybachplatz 1
88045 Friedrichshafen, DE

72 Inventor/es:

HEHLE, MARC;
MÜLLER, RALF;
NIEMEYER, JENS;
REMELE, JÖRG;
SCHÄFFNER, GUIDO;
SINZENICH, HOLGER y
SPÄDER, TIM

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 739 495 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

Procedimiento para la determinación basada en el modelo de la distribución de temperatura de una unidad de postratamiento de gases de escape

5 La invención se refiere a un procedimiento para la determinación basada en el modelo de la distribución de la temperatura de una unidad de postratamiento para gases de escape, en particular de un catalizador, preferentemente un catalizador SCR o un filtro de partículas, según el preámbulo de la reivindicación 1.

10 Un procedimiento de este tipo es conocido, por ejemplo, por el documento DE 103 05 451 A1 y por el documento DE 100 36 942 B4 y parte de la base de que la temperatura promedio determinada a través de la longitud de flujo de una unidad de postratamiento de gases de escape, por ejemplo de un catalizador, en cada caso en operación dinámica, y la distribución de temperatura no homogénea asociada a la misma, no proporciona una base suficiente para ajustar el sistema motor-unidad de postratamiento de gases de escape de forma que se cumplan los requisitos estrictos sobre la calidad de los gases de escape con la precisión requerida. Esto debe satisfacerse dividiéndose la unidad de postratamiento de gases de escape de forma basada en el modelo en dirección axial en una serie de discos y determinándose la temperatura de cada disco en función de la temperatura del gas que fluye contra el disco. Esto suponiendo que la distribución de temperatura radial sea constante y que se produzca una transferencia de calor adiabática entre el gas de escape y los discos de la unidad de postratamiento de gases de escape.

20 Estas suposiciones, a su vez, conducen a determinadas imprecisiones, en particular debido al gradiente de temperatura radial que se forma de modo contrario a la suposición, por lo que se prevé detectar y también tener en cuenta estas pérdidas de calor de forma aproximada.

25 En otro procedimiento conocido por el documento DE 10 2009 046 771 A1 para la determinación basada en el modelo de la distribución de la temperatura de las unidades de postratamiento de gases de escape, el perfil de temperatura axial se determina en primer lugar al menos zona por zona y, basándose en una relación analítica, se calcula un campo característico de temperatura multidimensional basado en el mismo, a su vez al menos zona por zona. Esta puede basarse en distintas condiciones de contorno, tales como, por ejemplo, una temperatura y/o propiedades ya conocidas de la unidad de postratamiento de gases de escape, que son importantes para el transporte de calor. A partir de la característica de temperatura calculada, se puede tomar la temperatura en función de la posición, de forma que mediante el perfil de temperatura axial y el campo característico de temperatura esté presente en cada caso al menos una temperatura dada en una posición cualquiera dentro de la unidad de tratamiento de gases de escape.

35 Por el documento DE 10 2006 021 303 B4 con respecto a la detección de la distribución de temperatura en una unidad de postratamiento de gases de escape, se conoce la determinación de la distribución de temperatura axial por medio de un modelo de calor dinámico y la detección del calor de reacción generado durante el postratamiento de gases de escape, lo que da como resultado la conversión de los componentes del gas de escape, mediante un modelo cinemático. Esto se realiza con el fin de mejorar la calidad de la distribución de temperatura determinada con el menor esfuerzo computacional posible. Mediante la detección de la distribución de temperatura radial, perpendicularmente al flujo principal, ocasionalmente se puede lograr, a este respecto, una mejora adicional de la calidad, lo que, a su vez, no obstante, requiere un mayor esfuerzo computacional.

45 El documento DE 103 47 132 A1 divulga un procedimiento para estimar la cantidad de amoníaco almacenado en un catalizador SCR basado en urea a base de un modelo dinámico de catalizador y genera la estimación sobre la base de valores medidos y estimados, proporcionando para ello valores de medición a través de sensores de NO_x y de temperatura dispuestos antes y después del catalizador, que con respecto al sensor de NO_x que se encuentra después del catalizador, debido a la sensibilidad cruzada frente al amoníaco, también posibilita una evidencia sobre el contenido de amoníaco en el gas de escape después del catalizador.

50 De forma correspondiente en el documento EP 2 025 388 A1 se utilizan sensores para la detección de valores de medición en una unidad de purificación de gases de escape, que opera con un catalizador SCR, que con respecto a la dosificación y el almacenamiento de amoníaco se regula teniendo en cuenta los valores de medición de forma basada en el modelo.

55 Por el documento DE 10 2007 045 263 A1 se conoce un procedimiento para controlar la alimentación de agente reductor en un sistema de postratamiento de gases de escape de un motor de combustión con un catalizador SCR, un modelo de almacenamiento SCR, una unidad de control y un dispositivo de dosificación, que debería posibilitar una optimización de la cantidad de agente reductor alimentada al catalizador, independientemente de las magnitudes de medición que pueden determinarse exclusivamente después de la reacción de reducción y mediante el cual, con respecto al catalizador SCR, se debe evitar a toda costa una irrupción del agente de reducción. Para la unidad de control, se detectan como magnitudes de partida las emisiones brutas de óxido de nitrógeno, la temperatura de almacenamiento y el nivel de almacenamiento. Sobre esta base, se realiza el cálculo de la tasa de conversión máxima posible y el cálculo del amoníaco consumido como agente reductor. Partiendo de esta base, la cantidad de óxidos de nitrógeno y amoníaco que emergen a través del catalizador y una señal de regulación, que,

5 cuando se acopla de forma retroactiva al modelo de almacenamiento SCR, influye, por medio del modelo de almacenamiento, en la magnitud de la cantidad del agente reductor que se inyectará a través del dispositivo de dosificación y que se tiene en cuenta junto con la cantidad de inyección considerada en el modelo de almacenamiento, se produce por medio del modelo de almacenamiento para el nivel de almacenamiento, que constituye una magnitud de entrada para la unidad de control.

10 El documento DE 10 2010 025 382 A1 muestra un catalizador SCR, al que se inyecta aguas arriba el agente reductor y cuyo cuerpo del catalizador de forma análoga al documento DE 100 36 942 B4 se subdivide transversalmente a la dirección de flujo en discos. Esto se realiza para poder detectar los parámetros esenciales para la función del catalizador tanto en discos, como para poder utilizar el resultado total de cambios esenciales en los discos dispuestos uno tras otro, en particular con respecto a su capacidad de introducción en el almacenamiento el agente reductor, para el resultado total.

15 Por medio de la invención, teniendo en cuenta la distribución de temperatura a lo largo de la unidad de postratamiento de los gases de escape, el sistema de motor-unidad de postratamiento de los gases de escape debe ajustarse de forma que el cumplimiento de los valores límite de los gases de escape dados, en particular los valores límite de los gases de escape preestablecidos legalmente, se garantice en general a un coste razonable.

20 Esto se logra con las características de la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes indican perfeccionamientos convenientes. Otros detalles según la invención se harán evidentes a partir de la descripción y los dibujos.

25 La invención, con respecto a la unidad de postratamiento de gases de escape, preferentemente un catalizador, en particular un catalizador SCR, para la determinación basada en el modelo de la distribución de temperatura y la capacidad de almacenamiento de NH_3 asociada al mismo en el caso de un catalizador SCR, se basa en la división de la unidad de postratamiento de gases de escape en varios discos transversalmente, en particular perpendicularmente a la dirección del flujo. Para cada uno de estos discos, la temperatura y la concentración de gas se calculan en el modelo, en el que, con respecto a la dirección del flujo a través, los valores de salida del disco anterior respectivo sirven como valores de entrada para el disco posterior.

30 Para cada uno de los discos, se realiza un balance de cantidades de una forma conocida. Se utilizan los resultados de estos balances de cantidades, con respecto al ejemplo del catalizador SCR como unidad de postratamiento de gases de escape, para determinar e influir en el nivel de almacenamiento de NH_3 . Básicamente, mediante dicho modelo térmico, el volumen del catalizador SCR y la cantidad de NH_3 almacenado en el mismo se utilizan mejor y en la dosificación del agente reductor, también con respecto al catalizador SCR, se tiene en cuenta la cantidad de NH_3 , de forma que se puedan evitar irrupciones de NH_3 en caso de una tasa de conversión optimizada.

35 La división en discos permite por lo tanto, con respecto a un catalizador SCR, con respecto al disco, la detección virtual de la concentración de NH_3 y/o NO_x de forma correspondiente a un sensor virtual. Debido a la resolución espacial de la cantidad de almacenamiento de NH_3 , de la conversión de NO_x y de la oxidación de NH_3 , de forma correspondiente a la resolución realizada en el modelo del cuerpo del catalizador en discos, se utiliza en condiciones transitorias mejor el volumen de almacenamiento NH_3 y se evita el deslizamiento de NH_3 .

40 De forma correspondiente al cálculo de la temperatura axial en forma de discos y al control mediante la medición de una temperatura de entrada y de salida con respecto a la unidad de postratamiento de gases de escape, es decir, en particular un catalizador SCR, se modela la distribución de temperatura radial del disco. Para este fin, cada disco se descompone virtualmente, de forma correspondiente a la división axial del cuerpo del catalizador en discos, en la dirección radial, ya sea en anillos concéntricos, paralelepípedos o de alguna otra forma, en particular segmentos de forma regular que se engarzan entre sí con el respectivo cuerpo en forma de disco. El procedimiento de cálculo para la determinación de la temperatura corresponde al del modelo de discos axiales, en el que, en función de la temperatura ambiente medida de por sí, se tienen en cuenta las pérdidas de temperatura que tienen lugar en la periferia.

45 Para el control y la calibración de la distribución de temperatura radial calculada, es conveniente proporcionar, además de la medición de temperatura prevista en el lado de entrada y salida, en particular a través de sensores de temperatura, una medición de temperatura adicional en el lado de salida, a través de la que se detecta la temperatura en las regiones que están separadas radialmente de la periferia en el lado de salida, en particular de forma que estén dispuestos al menos dos sensores de temperatura previstos en diferentes posiciones radiales. En lugar de una medición de temperatura adicional de este tipo en el lado de salida, también se puede trabajar con un solo sensor si está dispuesto por medio de su posicionamiento con respecto al catalizador en una posición en la que se encuentra una temperatura promedio correspondiente, por ejemplo, a una distancia axial mayor con respecto al catalizador.

50 Mediante la modelación de temperatura radial y axial combinada se logra una utilización optimizada de la unidad de postratamiento de gases de escape respectiva, así, por ejemplo, en el caso de catalizadores del potencial para una

reducción del espacio de instalación, y en el caso de filtros de partículas con regeneración activa mediante el modo de regeneración optimizado asociado también el ahorro de combustible.

El cálculo de la temperatura axial y radial con respecto a los discos respectivos del cuerpo de la unidad de postratamiento de gases de escape subdividido en el modelo se realiza en la solución según la invención teniendo en cuenta la transferencia de calor radial a la periferia de la unidad de postratamiento mediante una resistencia de transferencia de calor R_C y en el cálculo de la transferencia de calor del gas de escape al material de la unidad de postratamiento de gases de escape, es decir, los segmentos de la unidad de postratamiento, teniendo en cuenta un índice de transferencia de calor k .

Según la invención, este tipo de determinación basada en el modelo de la distribución de temperatura de la unidad de postratamiento de gases de escape ofrece la ventaja particular de proporcionar también, mediante el procedimiento en la determinación basada en el modelo de la distribución de temperatura, valores de salida que, en el modelo, en función de si las temperaturas del gas de escape medidas antes de la unidad de postratamiento en intervalos temporales preestablecidos cambian con respecto a un valor promedio temporal de las mismas, se diferencian entre un modo de operación estacionario y uno no estacionario.

A este respecto, en la invención, se parte de la base de que existe un modo de operación estacionario cuando la temperatura del gas de escape medida antes de la unidad de postratamiento de gases de escape, en particular a intervalos de tiempo regulares, no muestra desviaciones mayores, es decir, por encima de un valor umbral preestablecido, que un valor temporal promedio. El valor umbral se puede establecer de forma variable, es decir, en función de otras condiciones de frontera, y es preferentemente, por ejemplo, de al menos $1\text{ }^\circ\text{K}$, pero también puede encontrarse dentro de un intervalo que constituye un múltiplo del mismo. Si, con respecto a este modo de operación estacionario, para la temperatura media medida después de la unidad de postratamiento de gases de escape se produce una diferencia que se encuentra por debajo del valor umbral de la temperatura del modelo promediada después de la unidad de postratamiento de gases de escape, entonces se realiza una adaptación del modelo, y concretamente modificando la resistencia de transferencia de calor R_C hasta que exista una coincidencia. En el modo de operación estacionario descrito, se realiza por lo tanto la adaptación del modelo al estado real y esto se realiza mediante una modificación de la resistencia de transferencia de calor R_C .

El modelo de temperatura para una unidad de postratamiento de gases de escape se presenta, en particular, como un modelo de temperatura SCR, por lo tanto para el modo de operación estacionario mencionado anteriormente como un bucle de control, que al cambiar la resistencia de transferencia de calor R_C se puede adaptar para lograr el estado estacionario. En la práctica, los cambios a corto plazo de las condiciones de desbordamiento en la unidad de postratamiento de gases de escape, en particular en el catalizador, permanecen esencialmente sin influencia sobre el modelo.

La situación es diferente si, en particular con los cambios en la carga de una magnitud correspondiente, las condiciones operativas de la unidad de postratamiento de gases de escape (dado el caso adicionalmente) cambian en el sentido de que se producen desviaciones de la temperatura del gas de escape medida antes de la unidad de postratamiento de gases de escape, es decir, por ejemplo, antes del catalizador, con respecto a un valor medio temporal. Para este caso, se parte de la base de que en la resistencia de transferencia de calor R_C más reducida en la ponderación permanece igual durante el proceso transitorio comparativamente corto, pero las condiciones modificadas pueden tenerse en cuenta mediante un cambio en el índice de transferencia de calor k , que depende de la velocidad de flujo del gas de escape y , por lo tanto, de la carga.

La dirección en la que se debe cambiar el valor k , es decir, el índice de transferencia de calor, es resultado de los perfiles de temperatura medidos y calculados a lo largo del tiempo, se determina a partir de las temperaturas medias después de la unidad de postratamiento de gases de escape, y las dos primeras derivadas de los mismos. Dependiendo de la posición temporal relativa de los puntos de inflexión determinados por máximos o mínimos en la curva de derivada, el valor k aumenta o disminuye.

Independientemente de si el valor de resistencia de transferencia de calor R_C que tiene en cuenta las condiciones para el entorno de la unidad de postratamiento en el caso no estacionario, es decir, para el espacio temporal que se detecta como no estacionario, se considera constante, la emisión de calor modificada al entorno se sigue teniendo en cuenta también en el caso no estacionario, ya que debido al cambio en las temperaturas internas de los discos se produce un flujo de calor modificado en la dirección radial.

La temperatura del modelo promediada dada después de la unidad de postratamiento de gases de escape, es decir, sobre todo después del catalizador, en particular el catalizador SCR, se determina promediando las temperaturas calculadas para las superficies de referencia, es decir por ejemplo anillos, del último disco de forma correspondiente a sus proporciones de área. Se parte de la base de que además se puede suponer que el índice de transferencia de calor k es conocido, y también correcto, para determinados estados de carga y estados de flujo de gases de escape correspondientes, de forma que se puede suponer, al respecto, la misma situación para el caso estacionario y para el caso no estacionario, y para la adaptación del modelo, en el caso no estacionario mediante modificación del valor k , se proporciona una base de referencia similar en cada caso. En el caso no estacionario, además de la adaptación

del modelo SCR, también se puede cambiar la cantidad de NH₃ alimentada y/o dado el caso también intervenir en la regulación del motor de combustión.

En el contexto de la invención, el catalizador SCR está integrado preferentemente en una estructura de regulación que, además del modelo SCR, opera con un control piloto y un regulador y que, dado el caso, también se puede utilizar para llevar a cabo un ajuste del modelo. En particular, la estructura de regulación se utiliza para adaptar la capacidad de almacenamiento detectada del modelo SCR en caso de cambios de carga bajo la premisa de garantizar una tasa de conversión suficiente adaptando la capacidad de almacenamiento en el modelo SCR y adaptando rápidamente la tasa de conversión requerida a la realidad.

Por lo general, solo se requiere un cambio en la capacidad de almacenamiento del modelo SCR en caso de cambios de carga con un gran cambio de temperatura. Para detectar la capacidad de almacenamiento, se calculan la capacidad de almacenamiento máxima respectiva y la carga actual de los discos catalizadores en incrementos temporales en continuo en el modelo SCR. Por lo tanto, el modelo SCR proporciona los datos básicos para decidir si debe realizarse una adaptación en el sentido de una introducción en el almacenamiento mediante aumento de la carga de NH₃ o una retirada de almacenamiento mediante la reducción de la carga de NH₃. La decisión sobre la base de estos datos básicos, y por lo tanto en función de la capacidad de almacenamiento, se produce a partir de una comparación del valor de emisión dado respectivo, en particular del valor límite de emisión prescrito legalmente como valor de emisión, para NO_x y el valor de NO_x calculado en el modelo, que se realiza en el control piloto.

Por ejemplo, en caso de un valor de NO_x a partir del cálculo de modelo, que es superior al valor de emisión especificado como valor de referencia, se debe llevar a cabo una adaptación, ya que se convierte muy poco en el catalizador y mediante el aumento de la cantidad de NH₃ dosificada, es decir, mediante introducción en el almacenamiento de NH₃, se puede lograr una conversión de referencia adaptada al valor de emisión preestablecido. Para la introducción en el almacenamiento, se aumenta correspondientemente la cantidad de NH₃ que se va a inyectar a través del control piloto.

En general, la cantidad de NH₃ que se va inyectar a través del control piloto se establece de forma que se conserve el valor de emisión preestablecido en cada caso, en particular un valor límite de emisión preestablecido legalmente, a menudo específico del país, para NO_x en la cantidad de, por ejemplo, 0,67 g/kWh, aumentándose o reduciéndose de forma correspondiente a la desviación identificada del valor de NO_x calculado en el modelo del valor de emisión preestablecido la cantidad de NH₃ almacenada en el modelo SCR. Así, por ejemplo, si la conversión de NO_x es demasiado elevada y un valor de NO_x calculado en base a la misma en el control piloto es inferior al valor de emisión preestablecido, la inyección de NH₃ a través del control piloto se reduce, es decir, a falta de alimentación de NH₃ el consumo de NH₃ se cubre mediante retirada de almacenamiento de NH₃.

En el caso de desviaciones más pequeñas, es decir, generalmente en operación estacionaria, se parte de la base de que el modelo SCR está ajustado correctamente con respecto a la capacidad de almacenamiento de los discos. En este caso, el regulador adapta el valor real medido después del SCR al valor de referencia de NO_x calculado ajustando gradualmente la cantidad de dosificación respectiva después del catalizador. Las desviaciones surgen, por ejemplo, debido a imprecisiones en la dosificación.

Por lo tanto, a través del regulador, en caso de desviaciones más pequeñas de los valores de NO_x calculados en el modelo SCR de los valores de NO_x medidos después del catalizador SCR se superpone una adaptación de la masa de NH₃ introducida y se realiza independientemente de las especificaciones del control piloto, dado el caso, para garantizar un ajuste rápido en términos de cumplimiento con los valores de emisión de NO_x.

Las magnitudes de entrada suministradas por el modelo SCR en el control piloto son, al menos principalmente: NO después de SCR en ppm, NO₂ después de SCR en ppm, NO máximo convertible en mol/s, NO₂ máximo convertible en mol/s, NO convertido en mol/s, NO₂ convertido en mol/s, NH₃ máximo en moles almacenable, NH₃ en moles almacenado.

En el ajuste del modelo integrado en la estructura de regulación, el perfil temporal de la diferencia entre la emisión de NO_x preestablecida y el valor de NO_x correspondiente calculado en el modelo se detecta en tiempos definidos. Si estos valores concuerdan, es decir, si las curvas de NO_x de estos valores representados a lo largo del tiempo son congruentes, el modelo está ajustado correctamente con respecto a la capacidad de almacenamiento de NH₃ y las tasas de conversión de NO_x. Si las curvas no son congruentes, el área entre las curvas es una medida del error del modelo. Si este error de modelo supera un valor umbral, el modelo se cambia con respecto a la capacidad de almacenamiento.

Dado que la capacidad de almacenamiento cambia solo lentamente con el envejecimiento del catalizador, el ajuste del modelo se realiza preferentemente solo en caso de retirada de almacenamiento, especialmente dado que el error del modelo es más claramente visible durante la retirada del almacenamiento que durante la introducción en el almacenamiento. Si tiene lugar un ajuste de modelo, el cambio en la capacidad de almacenamiento que se produce debido al envejecimiento también se determina en el modelo SCR, de forma que según la invención también es posible garantizar que, a pesar de la capacidad máxima de almacenamiento de NH₃, que se reduce como resultado

de la deriva de envejecimiento a lo largo del período de operación, se garantiza una tasa de conversión máxima suficiente.

5 En el contexto de la invención, en el modelo SCR, las reacciones de NO_x se detectan como reacciones químicas por el control/regulación SCR con respecto a la urea como agente reductor por medio de reacciones principales conocidas que se presentan a continuación.

10 1.) $\text{NO} + \text{NO}_2 + 2 \text{NH}_3 \rightarrow 2 \text{N}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$
como reacción rápida

2.) $4 \text{NO} + 4 \text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$
como reacción estándar, y

15 3.) $6 \text{NO}_2 + 8 \text{NH}_3 \rightarrow 7 \text{N}_2 + 12 \text{H}_2\text{O}$
como reacción lenta.

20 Los valores de campo característico, determinados en ensayos de banco de prueba para el material de catalizador para conversiones y capacidad de almacenamiento de NH₃ constituyen una base esencial para el modelo SCR y las secuencias que abarca.

25 En base a esto, se determina la conversión total en óxidos de nitrógeno, es decir, el valor de NO_x dado después del catalizador, considerándose particularmente prioritarios, con respecto a los discos de catalizador individuales proporcionados en la modelación, la velocidad de flujo, la temperatura, la concentración de NO_x y la cantidad de NH₃ disponibles en el disco.

30 Otros detalles y características de la invención se deducirán a partir de las reivindicaciones, las explicaciones y los dibujos siguientes. Los dibujos ilustran:

35 Figura 1: una representación esquemática de un catalizador SCR que se ha dividido axialmente en discos de un modo virtual, como ejemplo también de unidades de postratamiento de gases de escape formadas por otros tipos de catalizadores y/o filtros de partículas,

Figuras 2 y 3: discos de catalizador que se han segmentado transversalmente con respecto a la dirección del flujo transversal,

40 Figura 4: una representación esquemática de las secuencias térmicas en el modelo SCR,

Figura 5: una representación esquemática y comprensible de una estructura de regulación según la invención en un diagrama de flujo,

45 Figura 6: una representación esquemática de la corrección dinámica con respecto a las secuencias térmicas en el modelo SCR,

Figura 7: una visión general de una estructura de regulación con respecto a un catalizador SCR según la invención que está controlado de una forma basada en el modelo, y

50 Figuras 8 y 9: representaciones de la determinación gráfica de la cantidad de NH₃ que se almacena y se retira del almacenamiento en el caso de una cantidad de NH₃ que se almacena o se retira del almacenamiento en un modo de corrección por medio de un ajuste de modelo.

55 Tal como se sabe en la práctica y también se describe a menudo en la literatura, en particular la literatura de patentes, existen sobre todo sistemas de propulsión que operan con motores diésel, en los que se utilizan sistemas de postratamiento de gases de escape que están dispuestos posteriormente con respecto al motor, por medio de los que determinados componentes del gas de escape, en particular contaminantes contenidos en el gas de escape, en la medida de lo posible, se retiran del gas de escape o al menos este se hace inocuo. Con el fin de reducir los óxidos de nitrógeno contenidos en el gas de escape rico en oxígeno de los motores de combustión diésel, en particular se utiliza la denominada tecnología SCR, en la que los óxidos de nitrógeno se reducen selectivamente dando nitrógeno y agua por medio de amoníaco o una sustancia precursora correspondiente que se puede convertir en amoníaco.

60 Para que esto se logre con una alta tasa de conversión de los óxidos de nitrógeno, debe tenerse en cuenta, en particular, la capacidad de almacenamiento de NH₃ del catalizador dependiente de la temperatura, que cambia, sobre todo, en función de las condiciones de operación del motor de combustión, pero también de las condiciones del entorno y a lo largo de la longitud del flujo a través del catalizador. Estos cambios no pueden detectarse de un modo real, en particular con un esfuerzo razonable. Por este motivo, paralelamente a la detección de las temperaturas mediante tecnología de medición se detecta la distribución de temperatura de un modo virtual en el lado de entrada y en el lado de salida con respecto al catalizador de una forma basada en el modelo para obtener la

imagen más precisa posible de la distribución de la temperatura teniendo en cuenta los valores de temperatura detectados mediante tecnología de medición y los valores de temperatura virtualmente determinados y, en particular, para poder controlar y/o regular la introducción del agente reductor, es decir una sustancia formadora de amoniaco, también en correlación con el comportamiento de almacenamiento del catalizador, en particular teniendo en cuenta la misma.

En la figura 1, la segmentación dada en el modelo del cuerpo del catalizador se ilustra mediante una subdivisión axial en un número relativamente grande de discos mediante la representación de tres discos 1 a 3 que se encuentran uno detrás de otro en la dirección del flujo a través del catalizador e indica 5 por medio de líneas discontinuas un revestimiento que rodea el cuerpo del catalizador en el lado de la periferia. Correspondientemente al flujo de gas de escape conducido a través del catalizador, cada uno de los discos 1 a 3 admite un flujo de masa que corresponde a este flujo de gas de escape, al cambiar la temperatura T_{gas} del disco 1 a 3 respectivo.

Correspondientemente a las emisiones del motor y la introducción de agente reductor en el flujo de gas de escape, este contiene fracciones en masa m de NO , NO_2 y NH_3 , con las que se correlacionan fracciones de cantidades de sustancia n correspondientes, que cambian de forma correspondiente a las tasas de conversión respectivas a lo largo del paso a través de los discos 1 a 3. De forma correspondiente a la representación, los valores de salida de un disco, por ejemplo el disco 1, representan los valores de entrada del disco siguiente, por ejemplo el disco 2. Teniendo en cuenta las reacciones que tienen lugar en cada uno de los discos, se obtiene para cada disco una temperatura correspondiente T_{disco} y también la cantidad de sustancia $n\text{NH}_3$ en moles almacenada en el disco, siendo el efecto de temperatura producido por las reacciones en los discos en comparación con la entrada de calor desde la corriente de gas de escape sustancialmente inferior.

Refinando la detección de temperatura para los discos, que no se muestra, también es posible detectar la conducción de calor entre discos sucesivos. La cantidad de sustancia total de NH_3 que está almacenada en el catalizador corresponde a la suma de las cantidades de sustancia $n\text{NH}_3$ almacenadas en los discos.

En la figura 1, el perfil de temperatura axial a través del catalizador se modela a través de los discos y en primer lugar se determina una temperatura respectiva T_{disco} para cada uno de los discos, pero se asume que la distribución de temperatura radial a través de cada uno de los discos es constante. Sin embargo, incluso en la dirección radial, se produce de forma real, ahora en cada caso dentro del disco respectivo, una estratificación de la temperatura con una caída de la temperatura hacia el revestimiento 5, para la cual la temperatura ambiente es, en general, significativamente inferior a la temperatura del catalizador.

Si, como en el caso de la invención, no se supone que la distribución de temperatura radial es constante para cada uno de los discos virtuales, entonces esto requiere para cada uno de los discos 1 a 4 que se subdividan virtualmente en segmentos, tal como se ilustra en las vistas esquemáticas en las figuras 2 y 3. La figura 2 muestra a este respecto segmentos virtuales 6, que encierran unos a otros radialmente, estando encerrado en la ilustración un segmento central por un número relativamente grande de segmentos de anillo.

Un tipo diferente de segmentación se ilustra en la figura 3, en la que, a diferencia de la ilustración en la figura 2, no se proporciona un revestimiento 5 en forma de anillo, sino un revestimiento cuadrangular 5, estando los discos 1 a 4 virtualmente segmentados en cuadrados 7 que corresponden a su sección transversal que es transversalmente rectangular con respecto a la dirección del flujo a través.

En las figuras 2 y 3, la disposición de los elementos de detección de temperatura, en particular los sensores 8, 9, se ilustra con respecto al cuerpo del catalizador segmentado en cada caso en el modelo para detectar la temperatura dada del flujo de gas de escape en el lado de entrada y el lado de salida del cuerpo del catalizador.

Con respecto a la segmentación radial proporcionada en el modelo y la posibilidad asociada a la misma de detectar la distribución de temperatura radial sobre el disco virtual respectivo, puede realizarse una detección de temperatura en diferentes regiones radiales de un modo real en el lado de salida del catalizador, por ejemplo, tal como se muestra en la figura 3, por medio de dos sensores 9 y 10 que están dispuestos en distintas posiciones radiales en el lado de salida. Se puede determinar una temperatura promediada del lado de salida detectando y promediando las temperaturas calculadas para los segmentos de forma correspondiente a sus proporciones de área. Una alternativa a esto es la detección mediante sensor de la temperatura del gas de escape a una distancia del catalizador en la que los gases de escape emergentes ya se han mezclado y existe una temperatura promedio, que puede detectarse por medio de un sensor.

Una posibilidad de acuerdo con la invención para considerar la distribución de temperatura axial y radial se ilustra en la figura 4 y ofrece, en particular, ventajas con respecto a la implementación de una estructura de regulación basada en modelos, que se abordará a continuación.

La figura 4 representa un modelo térmico de un catalizador SCR en sus características básicas, en las que, según la figura 1, la temperatura T antes de CAT y el flujo de masa de gases de escape m_{gas} forman las magnitudes de entrada, que se alimentan a una masa de gas del acumulador térmico 16 virtual a través de una compensación de

5 polo 15 para la compensación computacional de la inercia del sensor, y preferentemente también verifica y comprueba su plausibilidad, en la cual se detecta el contenido de calor de la masa de gas a la temperatura dada con respecto al volumen de disco respectivo, y desde donde se realiza el transporte de calor al disco siguiente debido a la transferencia de la masa de gas, simbolizada por el acumulador térmico 17. Si se produce un aumento de la temperatura en el gas de escape debido a reacciones exotérmicas, este se tiene en cuenta en el bloque 18 y conduce, con respecto al contenido de calor de los gases de escape que se transfieren desde la masa de gas del acumulador térmico 16 a la masa de gas del acumulador térmico 17, a un determinado aumento de temperatura, que tiene a veces un efecto incluso relativamente fuerte, por ejemplo, en el DOC (catalizador de oxidación diésel), y en algunos casos es insignificante

10 La transferencia de calor se realiza desde la masa de gas que fluye detectada respectivamente con respecto al disco respectivo, al material del catalizador teniendo en cuenta el índice de transferencia de calor k , representándose el material del catalizador del disco respectivo en forma simbolizada como un acumulador térmico 19 o 20. Orientado con el catalizador real, se produce un gradiente térmico para el cuerpo de catalizador simbolizado por los acumuladores de calor 19, 20 dirigido hacia la periferia del catalizador, de forma correspondiente a las diferencias de temperatura dadas. Con respecto a la representación según la figura 4 y la indicación simbólica del revestimiento 5, se proporciona una resistencia de transferencia de calor al entorno, simbolizada en la figura 4 por la resistencia de transferencia de calor R_C .

20 En la ilustración del modelo térmico proporcionado por la figura 4, se parte de la base de que, según las condiciones en la operación práctica, existen fases operativas estacionarias y no estacionarias y que se puede distinguir entre estas fases operativas en todos los casos y se distingue cuando la temperatura del gas de escape medida a intervalos de tiempo regulares antes de la unidad de postratamiento de gases de escape, en particular antes del catalizador, cambia en comparación con un valor temporal medio a lo largo de los períodos de tiempo correspondientes. Si este no es el caso, entonces se asume un estado estacionario, en el otro caso, un estado no estacionario. Correspondientemente se utilizan diferentes bucles de control.

30 De forma correspondiente a la influencia generalmente relativamente pequeña sobre la temperatura de la unidad de postratamiento de gases de escape, que está diseñada en particular como un catalizador, de la transferencia de calor radial desde el cuerpo de la misma, en particular desde el cuerpo del catalizador, al entorno, se lleva a cabo en el caso estacionario una adaptación cambiando la resistencia de transferencia de calor R_C por medio de una disposición de control 22. El caso estacionario se determina en el modelo de forma correspondiente a las condiciones descritas anteriormente a través de una detección estacionaria indicada en el bloque 21. La disposición de control 22 tiene en cuenta la diferencia de las temperaturas del lado de salida T después de la unidad de postratamiento de los gases de escape, con respecto a un catalizador SCR como en el ejemplo de realización, es decir según el sensor Cat (medido), y T según el modelo (calculado). Si se producen desviaciones relevantes con respecto a una temperatura de gas de escape T medida por medio de un valor medio temporal del lado de entrada, antes de la unidad de postratamiento de gases de escape, en particular antes del catalizador, se modifica el índice de transferencia de calor k . Esto, debido a que este se modifica dependiendo de la velocidad de flujo del gas de escape y , por lo tanto, en función de la carga y también del contenido de calor de un disco de almacenamiento respectivo, así como también del cuerpo de la unidad de postratamiento de gases de escape, en particular el catalizador en su conjunto, está influenciado mucho más por la temperatura del gas de escape que fluye a través que por la transferencia de calor del disco respectivo al entorno. El cambio del índice de transferencia de calor k se sigue, partiendo del bloque 23 teniendo en cuenta los factores dinámicos descritos.

45 La figura 5 representa una ilustración de la secuencia descrita anteriormente en un diagrama de bloques, refiriéndose nuevamente a un catalizador SCR como ejemplo de otras unidades de postratamiento de gases de escape de forma tal que T después de CAT o T antes de CAT también representa T después de la unidad de purificación de gases de escape o T antes de la unidad de purificación de gases de escape, ya sea medida o calculada. Según el bloque 30, en el cálculo del modelo, se realiza la corrección dinámica de la temperatura del gas de escape medida, en el lado de salida con respecto a la unidad de postratamiento de los gases de escape T según el sensor CAT, el cálculo de las temperaturas del gas y el cálculo de la temperatura en el cuerpo del catalizador con distribución transversal durante la detección de la transferencia de calor al entorno a través de la resistencia de transferencia de calor R_C y la transferencia de calor desde el gas de escape al cuerpo del catalizador a través del índice de transferencia de calor k , realizándose el cálculo del modelo desde el frente hacia atrás.

60 La temperatura medida de los gases de escape en el lado de entrada, designada T antes de CAT, se detecta en el bloque 31 y se procesa después de pasar a través de una compensación de polo según el bloque 32 en el cálculo del modelo según el bloque 30. La temperatura medida de los gases de escape en el lado de salida, designada T después de CAT, según el bloque 33, se alimenta a un bloque 35 a través de una compensación de polo según el bloque 34, en el que se realiza un ajuste de la temperatura del gas de escape T según el sensor CAT medida con respecto a la temperatura del gas de escape calculada T según el modelo CAT. Con respecto a la temperatura calculada de los gases de escape en el lado de salida, T según el modelo CAT, teniendo en cuenta los resultados según el bloque 30, se realiza la formación ponderada de valores medios en el bloque 36, que se alimentan a través del bloque 37 como resultado como temperatura del lado de salida calculada T según el sensor CAT, al bloque 35.

La diferenciación entre el comportamiento de operación en estado estacionario y no estacionario tiene lugar teniendo en cuenta el ajuste de temperatura en el lado de salida medida T según el sensor CAT, llevado a cabo en el bloque 35, y la temperatura calculada en el lado de salida, T según el modelo CAT, en el que mediante la detección estacionaria según el bloque 38 y el subsiguiente ajuste de la resistencia de transferencia de calor R_C (bloque 40) este se alimenta como un parámetro en el cálculo del modelo según el bloque 30. En el caso de la detección en estado no estacionario según el bloque 39, proporcionada mediante el ajuste según el bloque 35, entre la temperatura del lado de salida medida y calculada, T después de CAT, tiene lugar el ajuste del índice de transferencia de calor k en el bloque 41 con la alimentación posterior en el cálculo del modelo según el bloque 30. En dicho cálculo del modelo, la temperatura del entorno T, que está disponible según el bloque 42, también se tiene en cuenta.

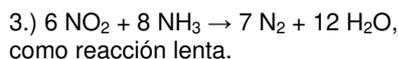
La figura 6 sirve para ilustrar la corrección dinámica, tenida en cuenta en el bloque 30, de la temperatura que se mide en el lado de salida de la unidad de postratamiento de gases de escape, T según el sensor CAT, es decir, los valores de temperatura detectados por los sensores y por lo tanto falsificados de forma correspondiente a la inercia del sensor. Estos se grafican (representados por líneas discontinuas) en su perfil frente al tiempo y la derivada asociada, con una compensación que alisa el paso bajo después del polo simbolizada en el bloque 45 y que compensa computacionalmente la inercia del sensor. Para el mismo período de tiempo, la temperatura T según el modelo CAT determinada en base al modelo, es decir, calculada, se determina también de forma correspondiente y se representa en el diagrama como una línea continua. En el desplazamiento correspondiente de la posición temporal de los puntos de inflexión, que corresponde a los valores máximos o mínimos de las curvas de derivada, surge la necesidad de corrección, en la que, en el sentido de corrección, el desplazamiento temporal dado debe minimizarse. Esto se realiza mediante un cambio correspondiente del valor k en el sentido de una reducción o ampliación en el cálculo del modelo. Para la corrección del valor k, este se corrige convenientemente por el mismo orden de magnitud en cada caso, por ejemplo, aproximadamente un punto porcentual más o menos. Los valores numéricos correspondientes a las derivadas se determinan en los bloques 46 y 47 y se representan en el diagrama.

Utilizando un cálculo basado en el modelo de la distribución de temperatura en un modelo de una unidad de purificación de gases de escape, en particular utilizando el cálculo basado en el modelo explicado anteriormente, la operación se lleva a cabo en una estructura de regulación para una unidad de purificación de gases de escape, en particular un catalizador SCR según la figura 7.

En la figura 7, diseñada como se señaló anteriormente con respecto a un catalizador SCR como ejemplo también para otras unidades de purificación de gases de escape, un catalizador SCR se denota con 50, y un modelo SCR con 51, en particular del tipo mencionado y explicado anteriormente, un control piloto con 52, un regulador con 53 y un ajuste de modelo con 54.

En el modelo SCR la capacidad de almacenamiento de NH_3 dependiente de la temperatura se tiene adicionalmente en cuenta, en particular en paralelo al cálculo de temperatura modelado, en función de la concentración de NH_3 en el gas de escape, en particular en un modo relacionado con el diagrama de características en base a los datos determinados para el material del catalizador respectivo en el banco de pruebas. Teniendo en cuenta este comportamiento de almacenamiento y las principales reacciones proporcionadas a continuación, se determina la conversión total de NH_3 , que se correlaciona con la diferencia entre la proporción de NO_x antes de CAT con respecto a la proporción después de CAT y puede determinarse, por lo tanto, por medio del valor de NO_x establecido como valor objetivo, por ejemplo, el valor de emisión que debe cumplir con la base de prescripciones legales.

Las principales reacciones mencionadas anteriormente son:



Para el cálculo del modelo, se puede partir de la base, como una aproximación, que la reacción más rápida finaliza antes de que comience la más lenta, de modo que se puede suponer que las reacciones son secuenciales en términos de tecnología computacional. Después de la reacción más rápida respectiva, las cantidades convertidas de NO y NO_2 se restan de las cantidades iniciales y después de cada reacción se determina la cantidad de NH_3 que está disponible en el volumen de un disco.

Con respecto a la estructura de regulación según la figura 7, el modelo SCR 51 proporciona por lo tanto la imagen más precisa posible del catalizador SCR 50 con respecto a los parámetros procesados así como los valores de partida, en particular del valor de NO_x .

Por consiguiente, los parámetros de entrada al modelo SCR con respecto al gas de escape que fluye a través del catalizador SCR 50 son: NO, NO₂, masa de gas de escape, temperatura T antes y después de CAT y NH₃. En el lado de salida se detecta lo siguiente: NO_x, NO/NO₂ convertido, NO/NO₂ máximo convertido, NH₃ almacenado y NH₃ máximo y almacenado. El cálculo de los requerimientos de conversión de NH₃ y la cantidad de NH₃ que se almacena y se retira del almacenamiento tiene lugar en el control piloto 52, y se aplica al modelo SCR 51 y el catalizador SCR 50. El controlador 53 tiene la función de determinar cualquier cantidad de introducción adicional para el catalizador SCR 50 para ajustar el catalizador SCR 50 con el modelo SCR 51 caso por caso.

Partiendo de la base de que se calcula la cantidad de NH₃ que se adapta respectivamente al valor de emisión preestablecido, es decir, el NO_x después de CAT, y que se inyecta como agente reductor a través del control piloto en base a las especificaciones del modelo SCR 51, y que se dispone una inyección correspondiente, mediante el ajuste de modelo 54 se lleva a cabo una evaluación para determinar si se proporciona una desviación relativamente grande entre el modelo SCR 51 y el catalizador SCR 50 y esto se realiza para el caso en el que la "cantidad de retirada de almacenamiento es diferente a cero" en el control piloto. Si este es el caso, entonces se realiza un cambio en la capacidad de almacenamiento máxima en el modelo y, por lo tanto, también se adapta un ajuste del control piloto para el próximo cambio de carga, dado que el control piloto 52 a su vez opera sobre la base de los datos proporcionados por el modelo SCR 51. Estos son: NO después de Cat SCR en ppm, NO₂ después de Cat SCR en ppm, NO máximo convertible en mol/s, NO₂ máximo convertible en mol/s, NO convertido en mol/s, NO₂ convertido en mol/s, NH₃ máximo en moles almacenable, y NH₃ en moles almacenado. De acuerdo con la definición de que el ajuste del modelo solo tiene lugar si en el control piloto "la cantidad de retirada de almacenamiento no es igual a cero", el ajuste del modelo solo tiene lugar en la fase de retirada del almacenamiento.

De acuerdo con los datos preestablecidos por el modelo SCR 51, el control piloto ajusta la cantidad inyectada de NH₃ en el sentido de que el valor de emisión preestablecido respectivo, es decir, por ejemplo, un valor de emisión legal, se cumple. Para este fin, en el control piloto, el valor de NO_x del lado de salida se calcula de forma continua sobre la base de los datos suministrados por el modelo SCR 51 y se compara con el valor de emisión preestablecido. Si hay desviaciones más grandes, la cantidad de alimentación de NH₃ se aumenta o se reduce cambiando la cantidad de NH₃ que se introduce por el control piloto 52, y debe inyectarse en el modelo SCR 51.

Por ejemplo, un valor de NO_x de 0,5 g/kWh calculado por el control piloto 52 puede provocar una conversión excesivamente grande de NO_x con respecto a un valor de emisión, es decir, por ejemplo, el valor de emisión legal de 0,67 g/kWh. En consecuencia, la inyección de NH₃ se reduce por el control piloto 52. Si la conversión de NO_x es más pequeña que el valor de emisión preestablecido, el control piloto 52 provoca el aumento de la cantidad de inyección de NH₃. La introducción en el almacenamiento de NH₃ se realiza de forma que se excluya un riesgo de deslizamiento.

El perfil temporal entre un NO_x que se establece de un modo real después de CAT y el NO_x calculado según el modelo se detecta en puntos temporales definidos utilizando el ajuste de modelo 54. Si hay una diferencia entre estos valores y si estos valores se representan en un diagrama como valores de NO_x a lo largo del tiempo en curvas, el área entre las curvas es una medida del error del modelo. Si este error de modelo supera un valor umbral, se cambia la capacidad de almacenamiento en el modelo. Dichos cambios se realizan preferentemente según la invención solo durante la retirada de almacenamiento, ya que la capacidad de almacenamiento cambia solo lentamente debido al envejecimiento del CAT y los errores del modelo también son más claramente visibles en comparación con la introducción en el almacenamiento. Junto con una corrección de este tipo que tiene lugar a través del ajuste del modelo 54, el envejecimiento del catalizador también se tiene en cuenta, preferentemente, automáticamente.

El que el modelo SCR 51 también tenga que corregirse con respecto a su capacidad de almacenamiento máxima en las condiciones respectivas, es decir, si se requiere un aumento o una disminución de la capacidad de almacenamiento, depende de los valores de NO_x, que están determinados, es decir, medidos por el sensor. Se aplica lo siguiente: NO_x modelo - NO_x real > 0: aumenta la capacidad de almacenamiento del modelo, < 0: disminuye la capacidad de almacenamiento del modelo.

El regulador 53 tiene la función, en el modo de operación estacionario, en caso de desviaciones relativamente pequeñas de los valores de NO_x, calculadas en el modelo SCR 51, con respecto a los valores de NO_x medidos después del catalizador SCR 50, de realizar una adaptación de la masa inyectada de NH₃ de una forma que esté superpuesta con respecto a, e independientemente de, las definiciones del control piloto 52, para garantizar una rápida adaptación con respecto al cumplimiento con los valores de emisión de NO_x.

Esta adaptación tiene lugar preferentemente de forma que la conversión de NO_x o NH₃ se detecte por medio de una carga de almacenamiento y desviaciones de la carga real de la carga correspondiente a la conversión de referencia se detectan como una medida de qué cantidad se va a introducir en el almacenamiento o a retirar del almacenamiento. En el caso de introducción en el almacenamiento, la cantidad que se va a introducir en el almacenamiento corresponde a la diferencia entre la carga real y la conversión de referencia de la carga correspondiente con respecto a una interpolación lineal de la curva de carga entre el valor de carga real y la carga máxima. En el caso de retirada del almacenamiento, la cantidad que se va a retirar del almacenamiento corresponde

a la diferencia de la carga real y una interpolación lineal de la curva de carga entre la carga real y el paso de la misma a través del punto de intersección de los ejes, tal como se ilustra en las figuras 8 y 9.

Listado de referencias

5

- 1 Disco
- 2 Disco
- 3 Disco
- 4 Disco
- 5 Revestimiento
- 6 Segmento
- 7 Paralelepípedo
- 8 Sensor
- 9 Sensor
- 10 Sensor

- 15 Compensación de polo
- 16 Masa de gas del acumulador térmico
- 17 Masa de gas del acumulador térmico
- 18 Bloque
- 19 Acumulador térmico
- 20 Acumulador térmico
- 21 Detección estacionaria de bloque
- 22 Disposición de regulación
- 23 Dinámica de bloque según la figura 6

Bloques

- 31 T antes de CAT (temperatura medida)
- 32 Compensación de posición de polo
- 33 T después de CAT (temperatura medida)
- 34 Compensación de polo
- 35 Ajuste de la temperatura
T después de CAT medida/ T después de CAT calculada)
- 36 Obtención del valor medio
- 37 Bloque
- 38 Detección estacionaria
- 39 Detección no estacionaria
- 40 Ajuste R_c
- 41 Ajuste k
- 42 Temperatura del entorno

- 45 Compensación de polo
- 46 Valores numéricos
- 47 Valores numéricos

- 50 Catalizador SCR)
- 51 Modelo SCR)
- 52 Control piloto) Estructura de regulación

- 53 Regulador)
- 54 Ajuste del modelo)

m Proporciones en masa
 n Proporciones en cantidad de sustancia

\dot{m} gas

T_{gas}

\dot{m} NO [kg/h]

\dot{m} NO₂ “

\dot{m} NH₃

n NO [g/mol]

n NO₂ [g/mol]

n NH₃ [g/mol]

n NH₃disco [g/mol]

R_C resistencia de transferencia térmica

T según el sensor CAT (medida)

T según el modelo CAT (calculada)

T antes de SCR (medida)

k índice de transferencia de calor

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación basada en el modelo de la distribución de temperatura de una unidad de postratamiento para gases de escape, en particular de un catalizador, tal como también un catalizador SCR, o de un filtro de partículas, con un diseño de la misma en el que el gas de escape fluye axialmente a través de la misma y está segmentada al menos axialmente en el modelo de la unidad de postratamiento, con una transferencia de calor axial entre los segmentos, al menos predominantemente por medio de los gases de escape, y una transferencia de calor radial desde la periferia de la unidad de postratamiento al entorno, caracterizado por que, dependiendo de si las temperaturas de los gases de escape que se miden antes de la unidad de postratamiento a intervalos temporales preestablecidos, en particular similares, cambian con respecto a un valor medio temporal de las mismas, en el modelo se diferencia entre un modo de operación estacionario y un modo de operación no estacionario, por que además, el cálculo de la transferencia de calor radial a la periferia de la unidad de postratamiento se lleva a cabo teniendo en cuenta un valor de la resistencia de transferencia de calor (R_C) y el cálculo de la transferencia de calor desde el gas de escape a los segmentos de la unidad de postratamiento se realiza teniendo en cuenta un índice de transferencia de calor (k) y, por que las desviaciones de la temperatura alcanzada en el modelo después de la unidad de postratamiento con respecto a la temperatura promediada medida después de la unidad de postratamiento en el modo de operación estacionario se tienen en cuenta adaptando el coeficiente de transferencia de calor (R_C) y en el modo de operación no estacionario adaptando el índice de transferencia de calor (k).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que para la modelación con respecto a una segmentación axial de la unidad de postratamiento en discos y una segmentación radial de los discos, en particular en anillos, la temperatura media calculada después de la unidad de postratamiento se determina promediando sobre la base de las temperaturas calculadas para las porciones de superficie del último disco en dirección axial.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que para un modo de operación estacionario partiendo de un estado de operación dado, el índice de transferencia de calor (k) dado para este estado de operación se mantiene en el cálculo del modelo.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que para un modo de operación no estacionario partiendo de un estado de operación dado, en la modelación el cálculo se realiza para este estado de operación con un coeficiente de transferencia de calor (R_C) constante.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el coeficiente de transferencia de calor (R_C) depende de las condiciones del entorno de la unidad de postratamiento.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la dirección del cambio en el índice de transferencia de calor (k), que es variable para el modo de operación no estacionario, se determina detectando los perfiles de temperatura medios medidos y calculados después de la unidad de postratamiento frente al tiempo y formándose las derivadas de los mismos, aumentándose y disminuyéndose el índice de transferencia de calor (k) en función de la posición temporal relativa de los puntos de inflexión correspondientes a los valores máximo y mínimo de las derivadas.
7. Procedimiento para la determinación basada en el modelo de la distribución de temperatura de una unidad de postratamiento de gases de escape utilizando un catalizador SCR, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, en el que el catalizador SCR (50) está integrado en una estructura de regulación con al menos un modelo SCR (51), un control piloto (52) y un regulador (53), en el que la cantidad de NH_3 que se va a alimentar al catalizador SCR (50), a través del control piloto (52), se orienta, se calcula y/o se ajusta para que cumpla con un valor de emisión, en particular un valor límite de emisión, en el que el modelo SCR (51) suministra los parámetros de entrada para el control piloto (52), en el que en el control piloto (52) se calcula en continuo el valor de NO_x correspondiente a los datos suministrados y se compara con el valor de emisión preestablecido y en el que, mediante la adaptación de la cantidad respectiva de NH_3 alimentado al catalizador SCR (50), el regulador (53) adapta el valor real de NO_x medido después del catalizador SCR (50) al valor de referencia de NO_x calculado después del catalizador SCR (50).
8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que la adaptación se realiza gradualmente en el modo de operación estacionario para compensar desviaciones más pequeñas del valor real de NO_x medido después del catalizador SCR (50) del valor de referencia de NO_x calculado después del catalizador SCR (50).
9. Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, caracterizado por que como magnitudes de entrada para el control piloto (52) están previstos, en particular: NO y NO_2 después de SCR en ppm, NO y NO_2 en mol/s que pueden convertirse a la carga dada, el NO y el NO_2 convertidos en mol/s, la capacidad de almacenamiento de NH_3 máxima en número máximo de moles de NH_3 que se pueden almacenar y la carga de almacenamiento de NH_3 en número de moles de NH_3 almacenados.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado por que desviaciones que tienen lugar de forma dependiente de las magnitudes entre el valor de NO_x determinado sobre la base de las magnitudes de entrada en el control piloto (52) y el valor de emisión preestablecido se tienen en cuenta mediante un cambio en la

alimentación de NH₃, produciéndose un aumento o una disminución para el NH₃ almacenado en el modelo SCR (51).

5 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado por que en la estructura de regulación está integrado un ajuste de modelo (54), en el que con respecto a puntos temporales definidos la secuencia temporal de la diferencia entre valores de NO_x medidos y detectados en el modelo se detecta como una medida de los errores del modelo.

10 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizado por que las reacciones de NO_x en el modelo SCR (53) se detectan mediante las reacciones principales subsiguientes

1.) $\text{NO} + \text{NO}_2 + 2 \text{NH}_3 \rightarrow 2 \text{N}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$
como reacción rápida

15 2.) $4 \text{NO} + 4 \text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$
como reacción estándar, y

3.) $6 \text{NO}_2 + 8 \text{NH}_3 \rightarrow 7 \text{N}_2 + 12 \text{H}_2\text{O}$
como reacción lenta.

20

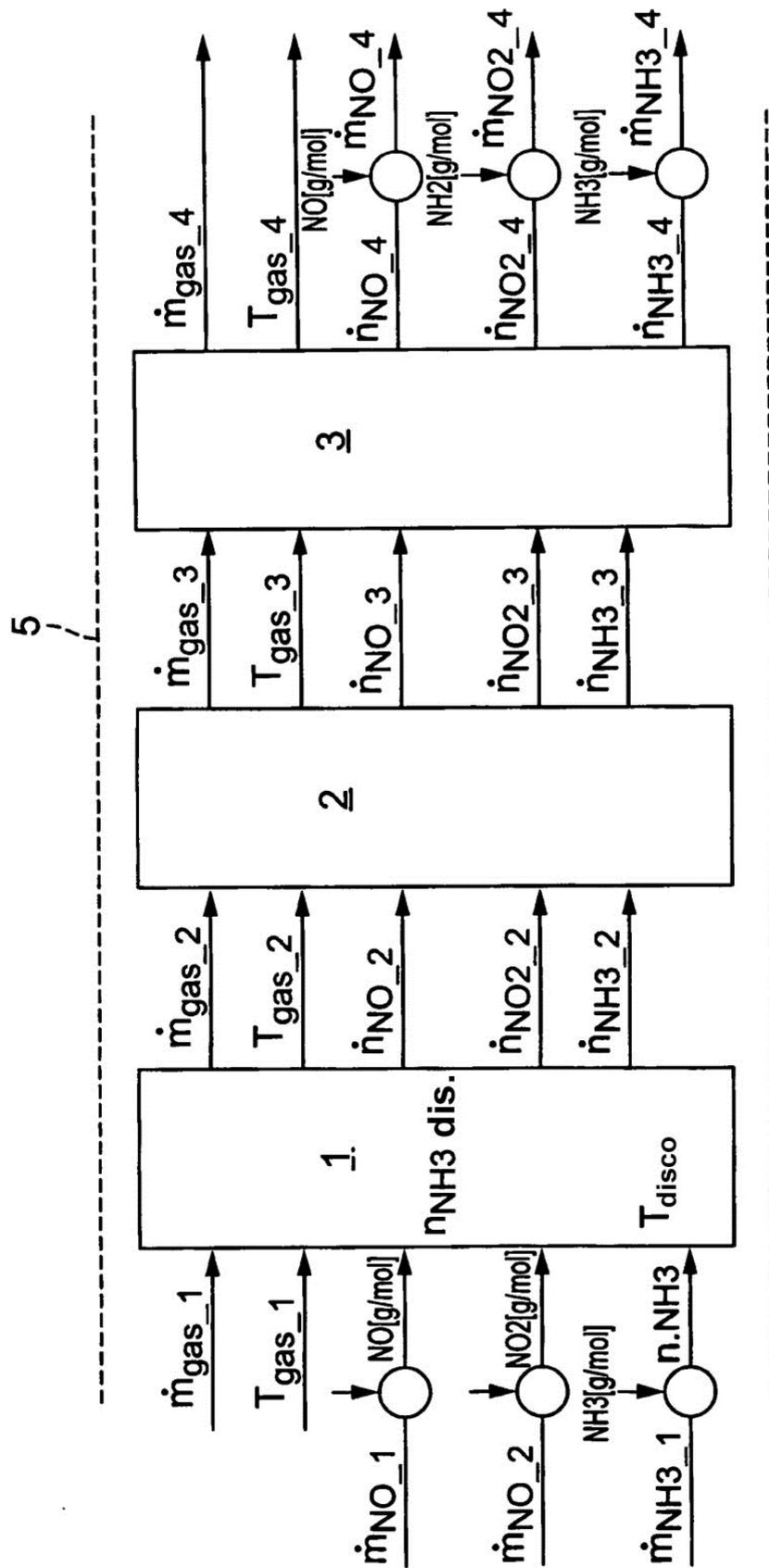


Fig. 1

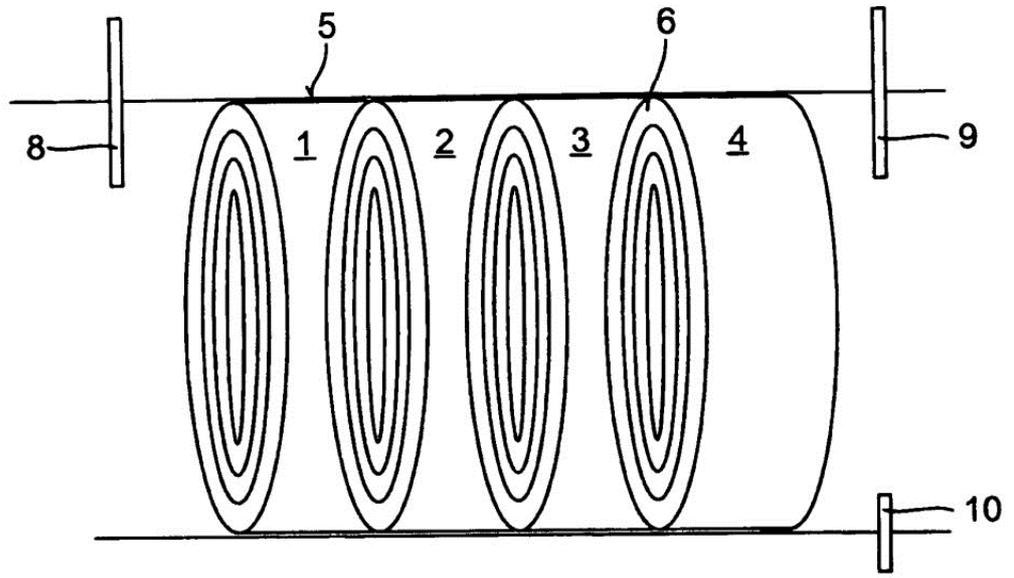


Fig. 2

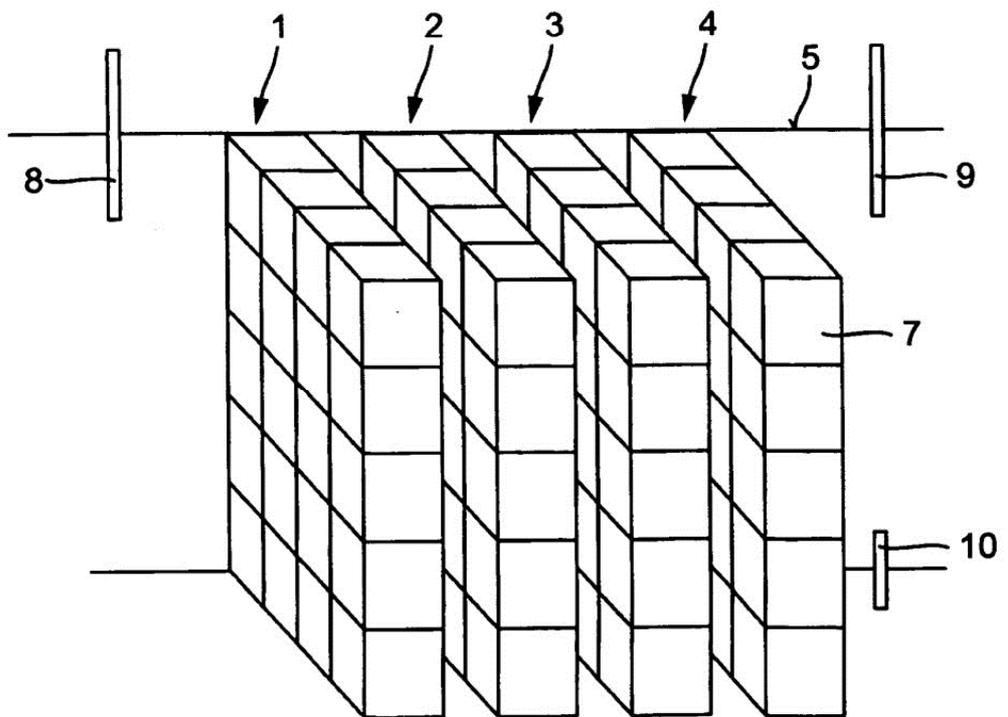


Fig. 3

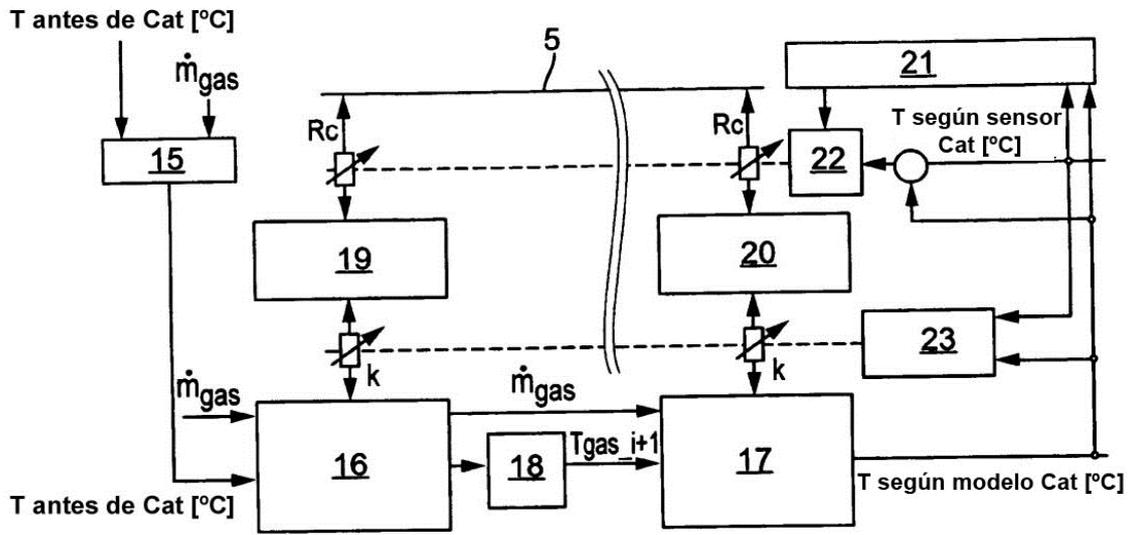


Fig. 4

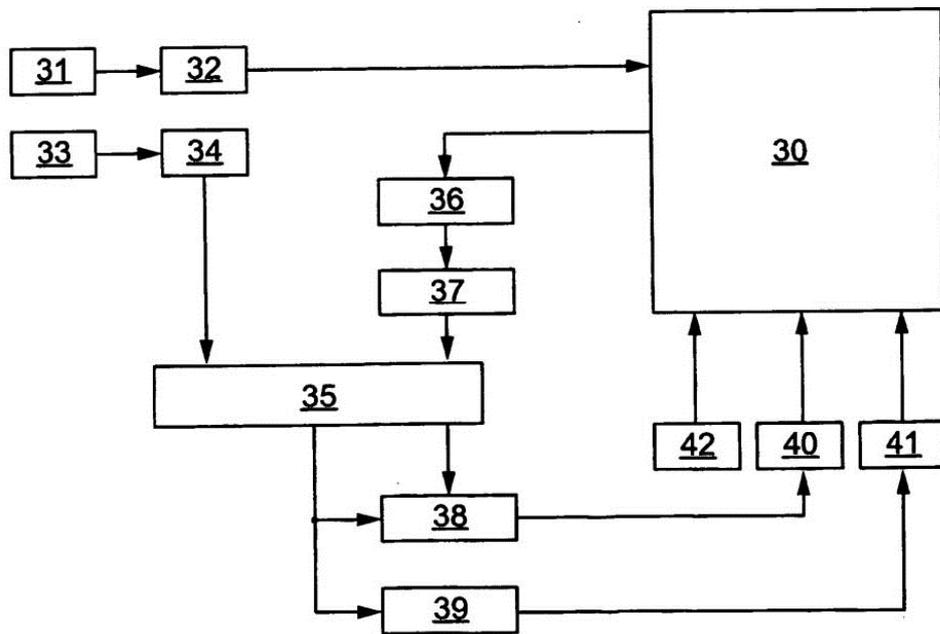


Fig. 5

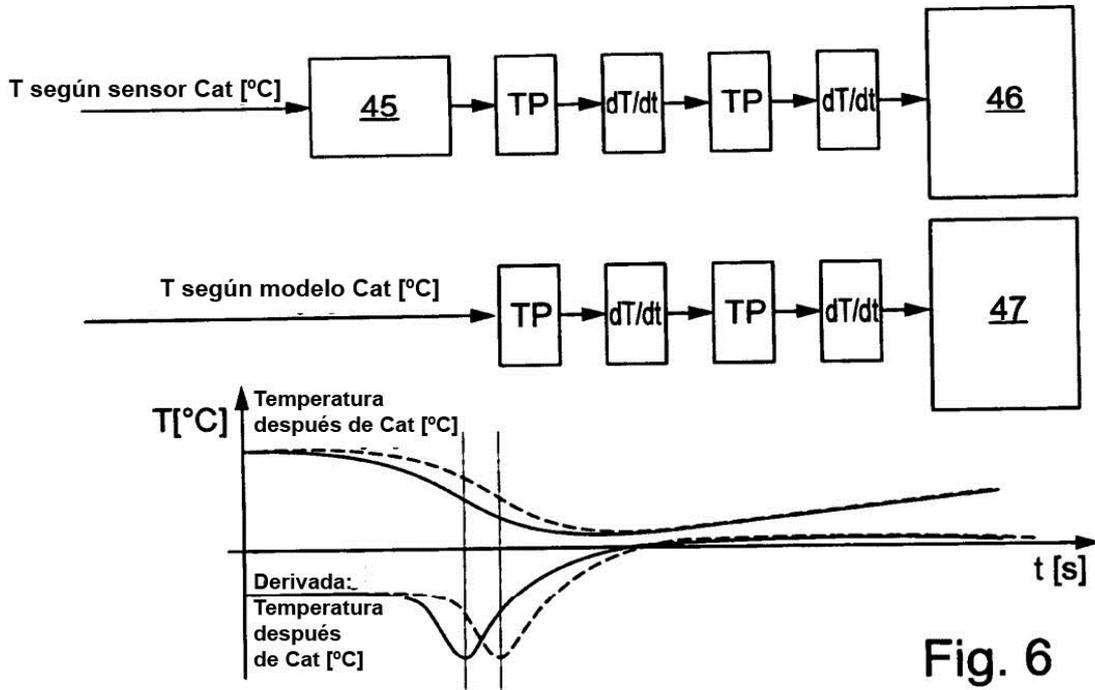


Fig. 6

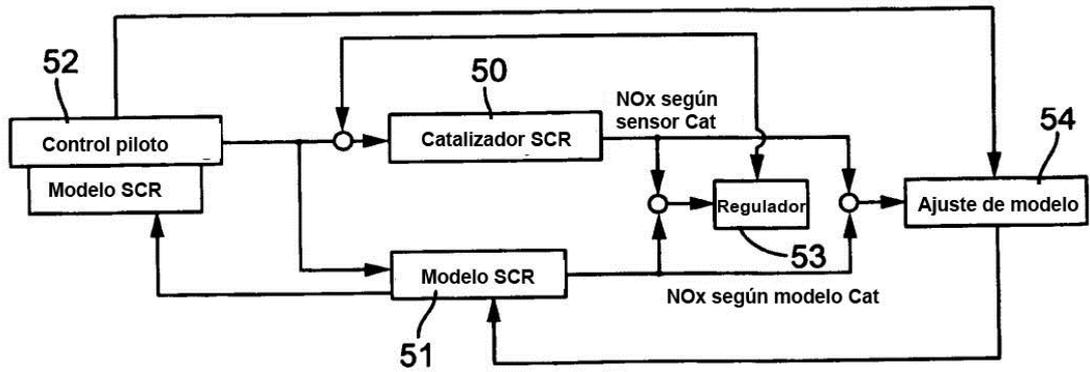


Fig. 7

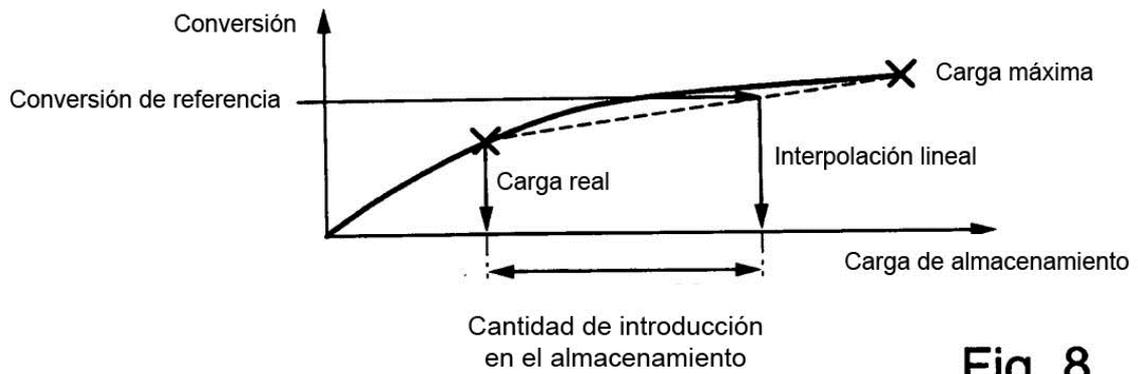


Fig. 8

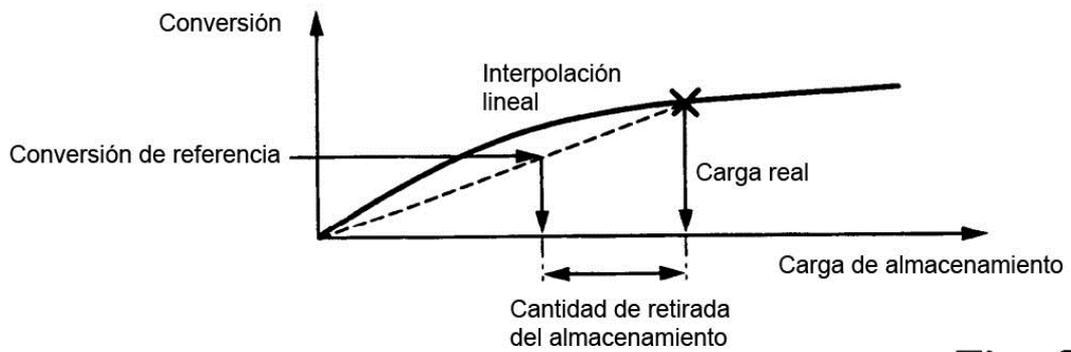


Fig. 9