

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 356**

51 Int. Cl.:

**F01N 3/05** (2006.01)

**B01D 53/94** (2006.01)

**F01N 3/20** (2006.01)

**F01N 13/00** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2010 E 14183871 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2019 EP 2821606**

54 Título: **Método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos en los gases de escape de los motores de combustión interna**

30 Prioridad:

**16.06.2010 US 816706**

**28.04.2010 US 34339210 P**

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

**17.04.2020**

73 Titular/es:

**TECOGEN, INC. (100.0%)**

**45 First Avenue  
Waltham, MA 02451, US**

72 Inventor/es:

**PANORA, ROBERT A.;**

**ROSER, RANSON y**

**GEHRET, JOSEPH B.**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 754 356 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**

Método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos en los gases de escape de los motores de combustión interna.

Antecedentes de la invención

5 Campo de la invención

Esta invención se refiere al tratamiento de gases de escape de motores de combustión interna, y más particularmente a la reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos prevalentes en los gases de escape de motores de combustión interna, particularmente motores de combustión interna de combustible gaseoso, encendidos por chispa.

10 Descripción de la técnica anterior

Los motores de combustión interna (IC) con encendido por chispa (SI) que funcionan con combustibles gaseosos producen pequeñas cantidades de compuestos químicos indeseables en la cámara de combustión, compuestos que se expulsan del motor a altas temperaturas 426.6 ° - 676.6 °C (800 ° - 1250 °F). Para los combustibles compuestos principalmente de metano y otros hidrocarburos ligeros, los productos químicos comúnmente regulados son los óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub> o generalmente NO<sub>x</sub>) y el monóxido de carbono (CO). Los óxidos de nitrógeno se forman cuando el nitrógeno (N<sub>2</sub>), un componente principal del aire, reacciona con el oxígeno (O<sub>2</sub>), otro componente principal del aire, cuando ambos están expuestos a altas temperaturas y presiones en una cámara de combustión del motor. El monóxido de carbono, por otro lado, es la consecuencia de la falla del combustible en reaccionar completamente con el oxígeno, lo que resulta en la formación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El CO y el NO<sub>x</sub> son contaminantes problemáticos en la medida en que sus valores regulados están en muchas regiones geográficas establecidas en o por debajo de los límites de la tecnología actual.

15

20

25

El documento US-B-6178744 describe un convertidor catalítico que incluye una carcasa conectada a la salida de un colector de gases y residuos de escape de un motor. La carcasa contiene disposiciones para oxidar los gases y residuos de escape y para atrapar los gases y residuos oxidados. Una parte central de la carcasa alberga disposiciones de refrigeración para reducir la temperatura de los gases y residuos aguas arriba de las disposiciones de captura por debajo de un umbral predeterminado.

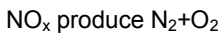
El documento US 2004/206069 describe la gestión térmica de los sistemas de escape.

El documento US 5,603,215 describe un método y un aparato para el tratamiento de corrientes de escape.

30

35

En las regiones estrictamente reguladas, la práctica actual para controlar las emisiones de los motores SI/IC alimentados con combustibles ricos en metano (gas natural, biocombustibles, gas de vertedero, etc.) es instalar sistemas en los conductos de escape del motor para eliminar, en la medida requerida por las regulaciones, tales productos químicos. Para motores más pequeños (menos de 1000 bhp), el sistema de tratamiento posterior común es un catalizador de una sola etapa. En estos pequeños sistemas, los productos de la combustión que salen del motor son forzados a través de un monolito catalizador (estructura de panal con recubrimiento de metales preciosos) que facilita las reacciones deseables de oxidación y reducción:



40

Los óxidos de nitrógeno se reducen a nitrógeno gaseoso (N<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>), ambos benignos, mientras que el monóxido de carbono (CO) se oxida por completo, formando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), igualmente no dañino y no regulado.

45

50

Los sistemas de emisiones actuales basados en catalizadores se basan en un control muy preciso de los parámetros operativos del motor para maximizar la eficiencia de conversión de las reacciones mencionadas anteriormente. Específicamente, la eliminación simultánea de NO<sub>x</sub> y CO a través de tales reacciones en un convertidor catalítico requiere una ventana operativa precisa del procedimiento de combustión del motor en relación con la mezcla de aire y combustible. Esto se representa en la figura 1 para un motor SI/IC típico. Como se muestra, las mezclas ricas dan como resultado un bajo NO<sub>x</sub> fuera del catalizador pero un alto CO, mientras que las mezclas pobres dan como resultado un bajo CO, pero un alto NO<sub>x</sub>. De la figura 1, es evidente que la limpieza simultánea de NO<sub>x</sub> y CO requiere que la proporción aire/combustible (AFR) del motor se controle con precisión en la región estrecha alrededor de la proporción aire/combustible estequiométrica. La conformidad de ambos contaminantes regulados solo puede mantenerse cuando la estequiometría de combustión se mantiene dentro de los puntos A y B de la figura 1. La mezcla de combustión aceptable, para lograr estándares de emisiones cada vez más estrictos, requiere que la proporción aire/combustible del motor se controle dentro de límites estrechos.

En referencia todavía a la figura 1, se representan las emisiones típicas del motor en función de AFR de un motor SI/IC equipado con un catalizador de tres vías simple o múltiple (TWC). El cumplimiento de los límites regulados para CO y NOx requiere que la AFR del motor se mantenga entre los puntos A y B de la figura 1, una banda que representa aproximadamente la AFR estequiométrica.

5 Los motores SI/IC estacionarios que funcionan en la mayoría de las aplicaciones en los EE. UU., y en otros lugares están altamente regulados en relación con las emisiones permisibles de CO y NOx, que están cada vez más controladas. En particular, the California Air Resource Board (CARB) ahora recomienda límites de 0.07 lb/MWh y 0.1 lb/MWh CO como parte de su estándar de 2007 para aplicaciones combinadas de calor y energía (CHP). Aplicando un crédito de recuperación de calor para mantener un mínimo del 60% de eficiencia total del sistema y suponiendo una eficiencia eléctrica del 27%, los límites de emisiones establecidos en términos de concentración real en el gas de escape son 3.7PPM NOx y 8.9 PPM CO. Como se usa en este documento, "PPM" significa partes por millón en volumen corregidas a un factor de dilución de aire estándar (15% de oxígeno equivalente). El área del sur de California bajo la jurisdicción del South Coast Air Quality Management District (SCAQMD) ha adoptado el estándar "CARB 2007" para NOx, al tiempo que restringe las emisiones de CO a un valor cercano al límite de CARB. Otras regiones en California también están adoptando estándares similares, mientras que otras regiones del país están implementando paulatinamente regulaciones que se aproximan a los estándares CARB 2007 (MA, NY y NJ, por ejemplo).

El cumplimiento de los estándares más nuevos requiere una eficiencia de conversión extremadamente alta en el catalizador tanto para CO como para NOx. Se necesitan monolitos de conversión extragrandes además de una precisión extrema en el control de la mezcla de aire/combustible.

20 La figura 2 representa la precisión de control de AFR de estado estacionario requerida para un motor estándar (modelo TecoDrive 7400) que usa un sistema TWC dimensionado para cumplir con CARB 2007, como lo indica un sensor de oxígeno de gas de escape calentado de banda estrecha precatalizado de milivoltios (mV) de salida del controlador de la AFR se mantiene a través del control AFR de estado estacionario (sin oscilación). Como se muestra en la figura 2 la mezcla de combustión del motor (proporción aire a combustible) es aceptable para que el rendimiento del catalizador alcance los límites regulados solo cuando la señal de un sensor lambda estándar en el conducto de escape se mantiene entre 680 y 694 mV. Por encima de este intervalo, la concentración de CO que sale del catalizador excede el límite de SCAQMD de 8.9 PPM, mientras que por debajo de este intervalo el NOx excederá rápidamente el límite de 3.7 PPM. Los límites mostrados en la figura 2 son los de CARB 2007 con un crédito para la recuperación de calor del motor, de modo que el 60% del contenido de calor del combustible se usa completamente como energía eléctrica o energía térmica recuperada. Para mantener el cumplimiento, la mezcla de aire de combustión a combustible debe mantenerse dentro de la ventana de 14 mV para el ejemplo que se muestra.

Un posible método para expandir la ventana de control para la operación del motor para lograr emisiones aceptables tanto de CO como de NOx, es modificar el sistema de tal manera que se usen dos etapas de sistemas catalíticos, cada uno operando en atmósferas químicas claramente diferentes. Los primeros sistemas catalíticos usaban comúnmente un diseño de dos etapas con inyección de aire entre etapas. En esta era, se emplearon monolitos catalíticos de oxidación o reducción de un solo propósito, pero no ambos. Más tarde, a medida que se desarrollaron los catalizadores multipropósito de una sola etapa (TWC), estos se convirtieron en el estilo dominante. Los primeros sistemas de dos etapas se emplearon en motores SI/IC de combustible gaseoso estacionario con éxito pero bajo estándares mucho menos estrictos. Presumiblemente, los problemas de reforma de NOx encontrados con los sistemas de dos etapas estaban presentes en la era anterior, pero eran intrascendentes en relación con los límites regulados en ese momento.

45 La figura 3 representa la disposición descrita anteriormente. Como se muestra, dos etapas de catalizador se conectan a un sistema de escape en serie. El aire se bombea a la corriente de escape entre las etapas uno (CAT 1) y la etapa 2 (CAT 2) y se mezcla a fondo. La proporción aire-combustible del motor se mantiene para facilitar la eliminación eficaz de NOx en la primera etapa. El aire inyectado en el escape produce un ambiente oxidante en la segunda etapa del catalizador sesgado hacia la oxidación de CO a CO<sub>2</sub>, incluso si la AFR del motor está fuera de la ventana de operación aceptable en el lado rico, un beneficio muy significativo.

50 Las pruebas que usan el sistema de dos etapas demostraron que la estrategia de dos etapas con inyección de aire no solo era ineficaz, sino que en realidad era perjudicial para el rendimiento del catalizador. Se descubrió que las emisiones de NOx del sistema de dos etapas son generalmente más altas que un sistema de una etapa de tamaño comparable y carga de material catalítico. Este sorprendente resultado indicó que existe un mecanismo tal que el NOx se forma en la segunda etapa, hecho posible por el ambiente rico en oxígeno, junto con condiciones propicias para la reacción química, esto es, alta temperatura y una abundancia de un material catalítico.

55 Un objeto de la invención es, por lo tanto, proporcionar conjuntos y métodos para eliminar de manera consistente y confiable óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono de los gases de escape de los motores de combustión interna de combustible gaseoso con encendido por chispa.

Resumen de la invención

La presente invención proporciona un método de operación de un sistema catalítico para reducir las emisiones de un motor encendido por chispa de combustión rica según la reivindicación independiente 1. Realizaciones adicionales de la invención se realizan según las reivindicaciones dependientes correspondientes.

5 Con los objetos anteriores y otros a la vista, una característica de la invención es la provisión de conjuntos y métodos para reducir eficazmente los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos en los gases de escape de los motores de combustión interna de combustible gaseoso con encendido por chispa, al presentar los gases que ingresan un convertidor catalítico de la segunda etapa a una temperatura más baja.

10 De acuerdo con la invención, los gases que entran en la segunda etapa del convertidor catalítico se enfrían inmediatamente después de la etapa uno, desde las temperaturas extremadamente altas que normalmente salen del motor 426.6 ° - 676.6 °C (800 ° - 1250 °F) a un valor inferior. Una temperatura intermedia, o intervalo de temperaturas, proporciona reacciones químicas deseables (eliminación de CO e hidrocarburos) y son muy favorecidas sobre aquellas que no son deseables debido a la formación de NOx. Se considera que este es un enfoque particularmente viable para combinar aplicaciones de calor y energía (CHP), en la medida en que los gases se enfrían en el procedimiento de recuperación de calor. Hacerlo en una aplicación CHP requiere solo que (1) la etapa de refrigeración se reoriente para enfriarse entre etapas, y (2) la efectividad de la refrigeración se altere para residir en un intervalo de temperatura favorable.

15 Las características anteriores y otras de la invención, que incluyen diversos detalles novedosos de construcción y combinaciones de partes y etapas del método, se describirán ahora más particularmente con referencia a los dibujos adjuntos y se indicarán en las reivindicaciones.

20 Se entenderá que los conjuntos y métodos particulares que incorporan la invención se muestran solo a modo de ilustración y no como limitaciones de la invención. Los principios y características de esta invención se pueden emplear en diversas y numerosas realizaciones sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

25 Se hace referencia a los dibujos adjuntos en los que se muestran realizaciones ilustrativas de la invención, a partir de las cuales serán evidentes sus características y ventajas novedosas.

En los dibujos:

30 La figura 1 es un cuadro que representa las relaciones de la técnica anterior entre los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono presentes en los gases de escape del motor, dentro y más allá de los intervalos aceptables, dada una proporción aire/combustible controlada con precisión;

La figura 2 es un gráfico que ilustra la precisión de control de la proporción aire/combustible en estado estacionario de la técnica anterior requerida para un motor estándar, usando un catalizador de tres vías;

La figura 3 es una representación esquemática de un sistema catalítico de dos etapas de la técnica anterior con inyección de aire entre etapas;

35 La figura 4 es una representación esquemática de un conjunto y método para reducir óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos en el escape de un motor, de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 4A es una representación esquemática de un conjunto alternativo (no de la invención);

La figura 5 es un gráfico que ilustra los resultados de la prueba 1 descritos en este documento a continuación;

40 La figura 6 es un gráfico similar a la figura. 5, pero que ilustra reducciones notablemente diferentes y muy mejoradas de óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono en el uso del conjunto de la figura 4;

La figura 7 es un gráfico que muestra que incluso con un desajuste del controlador de la proporción aire/combustible, los conjuntos y métodos de la invención proporcionan menores emisiones y una mayor tolerancia para desviaciones en proporción aire a combustible del motor;

45 La figura 8 es una representación esquemática de otro conjunto y método de reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos en motores de combustión interna; y

La figura 8A es una representación esquemática de otro conjunto alternativo adicional (no de la invención).

Descripción de las realizaciones preferidas

50 La prueba de un sistema de dos etapas con refrigeración entre etapas se realizó usando un aparato representado en la figura 4. Como se muestra en la figura 4, los gases de escape del motor salen de un motor 20 y son canalizados por un conducto de gases de escape 22 a un convertidor catalítico de la primera etapa 24 que tiene al menos uno, y

preferiblemente dos, de conversión catalítica, Cat 1a y Cat 1b. Se prefieren dos elementos catalíticos, en lugar de uno, para lograr un alto rendimiento en la primera etapa 24 en relación con la eliminación de NOx. Un único elemento convertidor catalítico funciona bien para el sistema descrito con un rendimiento ligeramente comprometido de la primera etapa 24.

5 Los gases de combustión del motor 20 entran en la primera etapa 24 a una temperatura normal de escape del motor de 648.8 °C (aproximadamente 1200 °F), después de lo cual el flujo de escape se vierte en dos corrientes 26, 28. Una corriente 26 se enfría a aproximadamente 137.7 °C (280 °F) a medida que pasa sobre los medios de refrigeración 30, o a través de un conducto sujeto a un medio de refrigeración inyectado adaptado para vaporizar y reducir sustancialmente la temperatura de la corriente. La otra corriente 28 pasa por alto las bobinas 30 de refrigeración y se inyecta con una cantidad controlada de aire desde un inyector 32 de aire. Las dos corrientes 26, 28 se vuelven a unir, como en la unión 34, luego se canalizan a una segunda etapa catalítica (Cat. 2) 46. La extensión de la refrigeración de los gases de escape se puede ajustar con una válvula 36 de ajuste de temperatura.

Se realizaron tres pruebas con este aparato que demuestran la invención descrita, resumiéndose las pruebas a continuación.

15 Prueba 1.

En un primer experimento, el motor 20 funcionaba con un alto rendimiento (156 bhp y 2500 rpm) y era alimentado por gas natural. La válvula 36 de ajuste de temperatura se ajustó de tal manera que la mayoría de los gases pasaron por alto las bobinas 30 de refrigeración. En funcionamiento estable del motor, y con la AFR del motor fijada en una condición que favorece la reducción de NOx de los catalizadores 24 de la etapa 1, se inició el experimento se resume en la figura 5.

25 Durante los primeros 200 segundos y sin inyección de aire entre etapas, las concentraciones de NOx, CO y O2 en el sistema de escape, así como la temperatura de escape entre etapas ("Tmix") se midieron en el puerto S1 (Figura 4). En este período de tiempo, y con el muestreo en S1, las emisiones de NOx estaban muy por debajo del límite de cumplimiento, mientras que los valores de CO no cumplían. Además, la temperatura de escape entre etapas fue alta, como se esperaba 426.6 °C (aproximadamente 800 °F), mientras que la concentración de O2 fue muy cercana a cero, indicativo de una operación casi estequiométrica. A los 200 segundos y en preparación de la inyección de aire para comenzar, el puerto de muestra se movió a S2 (Figura 4), inmediatamente después de la segunda etapa (Cat 2). Como se esperaba, las concentraciones de CO y NOx medidas después de la segunda etapa fueron moderadamente más bajas con el beneficio del elemento catalizador adicional.

30 A los 520 segundos se inició la inyección de aire entre etapas, como se indica claramente en la figura 5 por el cambio de etapa en la concentración de O2 en el puerto S2. El CO disminuyó inmediatamente a casi cero, pero los niveles de NOx aumentaron bruscamente, lo que demuestra el resultado decepcionante obtenido en el pasado sin el beneficio de esta invención.

35 Como la inyección de aire se incrementó etapa por etapa a 800, 1100 y 1400 segundos, el NOx mejoró ligeramente, pero permaneció altamente no conforme. A los 1660 segundos, se hizo un cambio en la combustión del motor a un valor más rico, que solo empeoró las emisiones de NOx.

En 1950 segundos, la inyección de aire se interrumpió, esencialmente devolviendo el procedimiento a una sola etapa. En este segmento de tiempo final, operando como un sistema de una sola etapa con una AFR rica, se midió que la concentración de NOx era baja, mientras que se encontró que el CO era alto, el resultado esperado (véase la figura 1).

40 Prueba 2.

45 En un segundo experimento, se repitió la prueba 1, pero con el refrigeración entre etapas aumentado para alcanzar valores "Tmix" más bajos 204.4 °C (intervalo de 400 °F). Los resultados, mostrados en la figura 6, fueron marcadamente diferentes. Cuando la inyección de aire comenzó a 550 segundos, la concentración de NOx disminuyó de 0.5 PPM a aproximadamente la mitad del valor, mientras que el CO también se redujo a concentraciones muy por debajo de los límites de cumplimiento. Las pruebas de cumplimiento se basan en la fecha promedio de tiempo tomada a lo largo de intervalos prolongados con picos a corto plazo, como los observados en la prueba 2 (figura 6), y que están permitidos siempre que no sean excesivos.

50 La inyección de aire, que tuvo un efecto sustancialmente negativo sobre las emisiones a la temperatura más alta, fue altamente eficaz para mejorar el procedimiento cuando el refrigeración entre etapas se incrementó sustancialmente. Es importante que no se haya previsto la reducción de NOx y es un beneficio muy significativo del procedimiento.

Prueba 3.

55 En una tercera prueba, el sistema se ajustó primero a una condición de estado estacionario que proporcionó un rendimiento casi óptimo, es decir, refrigeración entre etapas a aproximadamente 271.1 °C (520 °F) con inyección de aire igual a aproximadamente 1% del aire de combustión primario. A continuación, se ajustó un controlador de proporción aire a combustible del motor etapa por etapa para alternar los puntos de operación de estado estacionario, tanto más

ricos como más pobres, para determinar la tolerancia del procedimiento a los desajustes. Los resultados, mostrados en la figura 7, indican que el procedimiento cumplió con éxito con las lecturas del sensor lambda de 660 mV a más de 692 mV, esencialmente el doble de la ventana de cumplimiento del sistema de catalizador de una sola etapa.

5 El nuevo conjunto y método proporciona, por lo tanto, emisiones más bajas y mayor tolerancia para las desviaciones en motores con proporción aire-combustible bajo control de combustible en estado estacionario (sin oscilación). El mismo fenómeno y las conclusiones son aplicables a las estrategias de control de combustible de difuminado, pero con aumentos en la ventana de cumplimiento de AFR, medido por los sensores de oxígeno o lambda de escape posteriores al catalizador.

10 De este modo, la presente invención proporciona un conjunto 10, mostrado en la figura 4, para reducir los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos en los gases de escape de los motores de combustión interna. El conjunto comprende un primer conducto 22 de escape que tiene un extremo receptor de escape para conectarse y extenderse desde un motor 20 de combustión interna, un medio 24 convertidor catalítico de la primera etapa en comunicación con un extremo dispensador del primer conducto 22 de escape, medios de refrigeración, tales como bobinas 30 de refrigeración, dispuestas en el medio 24 convertidor catalítico de la primera etapa para enfriar una  
15 primera porción de los gases de escape del motor recibidos del primer conducto 22 de escape.

20 El conjunto incluye además un primer conducto 27 de salida para facilitar el movimiento de la primera porción corriente 26 refrigerada de los gases de escape del motor desde el medio 24 convertidor catalítico de la primera etapa, un segundo conducto 29 de salida para facilitar el movimiento de la segunda corriente 28 de los gases de escape del motor recibido del medio 24 convertidor catalítico de la primera etapa, un conducto 37 de inyección de aire que recibe aire del inyector 32 de aire y está en comunicación con el segundo conducto 29 de salida para enfriar la segunda porción de gases de escape del motor, un segundo conducto 33 de gases de escape en comunicación con el primer conducto 27 de salida y el conducto 37 de inyección de aire, y un convertidor 46 catalítico de segunda etapa en comunicación con el segundo conducto 33 de gases de escape y que tiene una salida 48 de emisión de escape. El primer conducto 27 de salida puede estar provisto opcionalmente de una válvula 36 de ajuste de temperatura.

25 En funcionamiento del conjunto de la figura 4, los gases de escape del motor 20 pasan a través del primer conducto 22 de escape y dentro del medio 24 convertidor catalítico de la primera etapa en el que una porción 26 del escape se enfría y pasa al primer conducto 27 de salida. Una segunda porción 28 del escape no se enfría sustancialmente y se pasa al segundo conducto 29 de salida.

30 El inyector 32 de aire inyecta aire en el segundo conducto 29 de salida. El gas de escape caliente de la segunda corriente 28 de escape y el aire inyectado pasan a través del conducto 37 de inyección de aire y se fusiona con la corriente 26 refrigerada de gas de escape y pasa a la segunda etapa del convertidor 46 catalítico y sale de allí en la salida 48.

35 Se proporciona además una realización 15 alternativa del conjunto para reducir óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos en los gases de escape del motor de combustión interna, mostrándose el conjunto 15 alternativo en la figura 8 y que comprende un primer conducto 50 de escape que tiene un extremo 52 receptor de escape conectado y que se extiende desde el motor 20 de combustión interna, un medio 54 de conversión catalítica de la primera etapa en comunicación con un extremo 56 dispensador del primer conducto 50 de escape, medio 58 de refrigeración en comunicación con los medios 54 de conversión catalítica de la primera etapa para enfriar una primera porción 60 de los gases de escape del motor recibidos desde los medios 54 de conversión catalítica de la primera etapa, y un conducto 62 para el escape refrigerado, extendiéndose el conducto 62 desde el medio 58 de refrigeración.  
40

El conjunto 15 incluye además una derivación 64 de medios de refrigeración en comunicación con la salida de los medios 54 de conversión catalítica de la primera etapa y el conducto 62 para escape refrigerado.

45 Un medio 66 de conversión catalítica de segunda etapa está en comunicación con el conducto 62 de escape refrigerado y el conducto 64 de derivación del medio de refrigeración. Un conducto 68 de inyección de aire está en comunicación con el conducto 62 de escape refrigerado. Una salida 70 de escape se extiende desde el medio 66 de conversión catalítica de la segunda etapa.

50 En funcionamiento del conjunto de la figura 8, los gases de escape del motor 20 fluyen hacia el convertidor 54 catalítico de la primera etapa. Una primera porción del escape que sale de la primera etapa del convertidor 54 catalítico se dirige al medio 58 de refrigeración. Una segunda porción del escape que sale de la primera etapa del convertidor 54 catalítico entra en un conducto 64 de derivación de medios de refrigeración que se une al conducto 62 de escape refrigerado que sale del medio 58 de refrigeración. El escape combinado del medio 58 de refrigeración y el conducto 64 de derivación se combinan, como en la válvula 72 de mezcla, y se someten a una inyección de aire desde el inyector 32 de aire, y dirigido al medio 66 de conversión catalítica de la segunda etapa, desde el cual el escape sale a través de la salida 70 con óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono muy reducidos.

55 Se proporciona además en conjunción con el conjunto 10, mostrado en la figura 4, un método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos de los gases de escape de los motores de combustión interna. El método que comprende las etapas de transportar el escape del motor a un convertidor 24 catalítico de la primera etapa,

enfriar una primera porción del escape del motor en el convertidor 24 catalítico de la primera etapa y retirar la primera porción refrigerada del convertidor catalítico a través de un primer conducto 27 de salida de gases de escape, retirando una porción no refrigerada del escape del motor del convertidor 24 catalítico a través de un segundo conducto 29 de salida de gases de escape, inyectando aire en el segundo conducto 29 de salida, transportando la segunda porción no refrigerada del escape del motor y el aire inyectado a través del conducto 37 de inyección de aire al primer conducto 27 de salida de gases de escape para unirse con la primera porción refrigerada del escape del motor en el conducto 37 de inyección de aire.

El método que comprende además dirigir el escape en el conducto 33 de gases de escape a un convertidor 46 catalítico de la segunda etapa, y descargar el escape del convertidor 46 catalítico de la segunda etapa, por lo que proporciona gases de escape del motor de menor contenido de óxidos de nitrógeno y menor contenido de monóxido de carbono.

Además, se proporciona junto con el conjunto 15, mostrado en la figura 8, un método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos de los gases de escape de los motores de combustión interna.

El método que comprende las etapas de transportar los gases de escape del motor a un convertidor 54 catalítico de la primera etapa y transportar los gases de escape del motor desde el convertidor 54 catalítico de la primera etapa en parte a un medio 58 de refrigeración y en parte a una derivación 64 de medios de refrigeración y mezclar los gases de escape del medio 58 de refrigeración y la derivación 64 de los medios de refrigeración en un conducto 62 de escape refrigerado, inyectando aire a través de un conducto 68 de inyección de aire en el conducto 62 de escape refrigerado, y dirigiendo el escape desde el medio 58 de refrigeración, y desde la derivación 64 de los medios de refrigeración, y desde el conducto 68 de aire inyectado, hasta un convertidor 66 catalítico de segunda etapa, y descargando a través de una salida 70 los gases de escape del motor tratados de este modo, por lo que se proporcionan gases de escape del motor de menor contenido de óxidos de nitrógeno y menor contenido de monóxido de carbono.

De acuerdo con otra característica más de la invención, se proporciona un método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos en los gases de escape de los motores de combustión interna de combustible gaseoso con encendido por chispa. El método que comprende las etapas de dirigir los gases de escape de un motor 20 a un convertidor 24, 54 catalítico de la primera etapa, dirigir una primera porción de la salida de escape del convertidor 24, 54 catalítico de la primera etapa a un medio 30, 58 de refrigeración y de allí a un conducto 26, 62 de escape refrigerado, dirigir una segunda porción de salida de escape desde el convertidor 24, 54 catalítico de la primera etapa a un conducto 28, 64 de gas de escape no refrigerado, unir las porciones primera y segunda de gases de escape y dirigir las porciones unidas primera y segunda a un segundo convertidor 46, 66 catalítico e inyectar aire en uno seleccionado de (1) el conducto 29 de escape no refrigerado y (2) los gases de escape unidos refrigerados y no refrigerados después de la unión de los mismos.

Una alternativa 16 al sistema de la figura 4 se describe en este documento con referencia a la figura 4A, para su uso en situaciones en las que la carga es constante y el líquido usado para enfriar se mantiene a una velocidad constante. La realización de la figura 4A se puede proporcionar y operar sin el conducto 29 de salida de gas de escape caliente y un conducto 37 de inyección mostrado en la figura 4.

De manera similar, una alternativa 18 descrita en el presente documento con referencia a la figura 8A puede efectuar la reducción deseada de emisiones en un sistema mantenido a una carga constante y una velocidad constante, en la que la derivación de escape 64 y la válvula 72 de mezcla se omiten del conjunto. Por lo tanto, el conjunto alternativo mostrado en la figura 4A comprende el conducto 22 de escape, los medios de refrigeración 30 de construcción de vaporización, el conducto 27 de salida, el conducto 33 de gases de escape, el inyector 32 de aire dispuesto para inyectar aire en el conducto 33 de gases de escape, y el medio 46 de conversión catalítica de la segunda etapa y su salida 48.

En este documento también se describe un método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos en el escape de los motores de combustión interna usando el conjunto mostrado en la figura 4A, que comprende las etapas de dirigir el escape desde el motor de combustión interna a un medio de conversión catalítica de la primera etapa, enfriar con agua de los gases de escape desde el medio de conversión catalítica y dirigir los gases de escape refrigerados hacia un medio de conversión catalítica de la segunda etapa, inyectando aire en los gases de escape refrigerados, dirigir los gases de escape refrigerados con aire al segundo medio de conversión catalítica, y descargar los gases de escape de los mismos.

El conjunto alternativo de la figura 8A comprende un conjunto igual al que se muestra en la figura 8, pero sin la derivación 64 de escape y la válvula 72 de mezcla. Es decir, el conjunto comprende un conducto 52 de escape, un medio 54 de conversión catalítica de primera etapa en comunicación con un medio de refrigeración, el medio 58 de refrigeración tiene bobinas o un equipo de refrigeración de vaporización. El conjunto incluye además medios 32 de inyección de aire para inyectar aire en una línea 62 de salida desde el medio 58 de refrigeración, y un medio 66 de conversión catalítica de la segunda etapa con una salida 70 para los gases de escape tratados.

En este documento también se describe un método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos en los gases de escape de los motores de combustión interna usando el conjunto mostrado en la figura 8A, que comprende las etapas de dirigir los gases de escape desde el motor de combustión interna al primer medio de

conversión catalítica, enfriar los gases de escape del primer convertidor catalítico, inyectar aire en los gases de escape refrigerados, dirigir los gases de escape refrigerados a un convertidor catalítico de la segunda etapa y descargar el gases de escape del segundo medio de conversión catalítica.

5 Se debe entender que la presente invención no se limita de ninguna manera a las etapas de construcción y método particulares descritos en este documento y/o mostrados en los dibujos, sino que también comprende cualquier modificación o equivalente dentro del alcance de las reivindicaciones.

Además de las reivindicaciones, que definen el alcance de la invención, se describen conjuntos y métodos adicionales de la siguiente manera:

10 1. Un conjunto para reducir los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos en los gases de escape del motor de combustión interna, el conjunto comprende:

un primer conducto de escape que tiene un extremo receptor de escape para conectarse y extenderse desde un motor de combustión interna;

un medio de conversión catalítica de la primera etapa en comunicación con un extremo dispensador de dicho primer conducto de escape;

15 medios de refrigeración dispuestos en dichos medios de conversión catalítica de primera etapa para enfriar una primera porción de gases de escape del motor recibidos desde dicho primer conducto de escape;

un primer conducto de salida para facilitar el movimiento de la primera porción refrigerada de los gases de escape del motor desde dichos medios de conversión catalítica de la primera etapa;

20 un segundo conducto de salida para facilitar el movimiento de una segunda porción de gases de escape del motor recibidos desde dichos medios de conversión catalítica de la primera etapa;

un conducto de inyección de aire en comunicación con dicho segundo conducto de salida para enfriar la segunda porción de gases de escape del motor;

un segundo conducto de gases de escape en comunicación con dicho primer conducto de salida y dicho conducto de inyección de aire; y

25 un convertidor catalítico de la segunda etapa en comunicación con dicho segundo conducto de gases de escape y que tiene una salida de emisión de escape.

2. El conjunto de acuerdo con el aspecto 1 en el que dichos medios de conversión catalítica de la primera etapa comprenden una pluralidad de convertidores catalíticos.

30 3. El conjunto de acuerdo con el aspecto 1 en el que dichos medios para enfriar comprenden bobinas para un medio de refrigeración.

4. El conjunto de acuerdo con el aspecto 1 en el que dichos medios para enfriar comprenden medios de inyección de medio de refrigeración, estando el medio de refrigeración adaptado para vaporizarse para reducir la temperatura de la primera porción de los gases de escape del motor.

35 5. El conjunto de acuerdo con el aspecto 3 en el que dichas bobinas están adaptadas para reducir la temperatura de dicha primera porción de dichos gases de escape del motor a aproximadamente 280 °F.

6. El conjunto de acuerdo con el aspecto 1 en el que dicho primer conducto de salida está provisto de una válvula de ajuste de temperatura.

7. Un conjunto para reducir los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos en los gases de escape del motor de combustión interna, el conjunto que comprende:

40 un primer conducto de escape que tiene un extremo receptor de escape conectado y que se extiende desde un motor de combustión interna;

un medio de conversión catalítica de la primera etapa en comunicación con un extremo dispensador de dicho primer conducto de escape;

45 medios de refrigeración en comunicación con dichos medios de conversión catalítica de la primera etapa para enfriar una primera porción de gases de escape del motor recibidos de dichos medios de conversión catalítica de la primera etapa;

un conducto de escape refrigerado que se extiende desde dichos medios de refrigeración;



- un conducto de derivación de medios de refrigeración en comunicación con dicho convertidor catalítico de la primera etapa y dicho conducto de escape refrigerado;
- un convertidor catalítico de la segunda etapa en comunicación con dicho conducto de escape refrigerado y dicho conducto de derivación de medios de refrigeración;
- 5 un conducto de inyección de aire en comunicación con dicho conducto de escape refrigerado; y una salida de escape que se extiende desde dicho convertidor catalítico de la segunda etapa.
8. El conjunto de acuerdo con el aspecto 7 en el que dichos medios de conversión catalítica de la primera etapa comprenden una pluralidad de convertidores catalíticos.
- 10 9. El conjunto de acuerdo con el aspecto 7 en el que dichos medios de refrigeración comprenden bobinas para un medio de refrigeración.
10. El conjunto de acuerdo con el aspecto 7 en el que dichos medios de refrigeración comprenden un medio de inyección de medio de refrigeración, estando adaptado el medio de refrigeración para vaporizarse para reducir la temperatura de la primera porción de los gases de escape del motor.
- 15 11. El conjunto de acuerdo con el aspecto 7 y que comprende además una válvula de mezcla dispuesta cerca de una unión de dicho conducto de escape refrigerado y dicho conducto de derivación.
12. Un método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos en los gases de escape de los motores de combustión interna con combustible gaseoso, encendidos con chispa, el método que comprende las etapas de:
- dirigir los gases de escape del motor a un convertidor catalítico de la primera etapa;
- 20 dirigir una primera porción de salida de escape desde el convertidor catalítico de la primera etapa a un medio de refrigeración y luego a un conducto de escape refrigerado;
- dirigir una segunda porción de salida de escape del convertidor catalítico de la primera etapa a un conducto de gas de escape no refrigerado;
- 25 unir la primera y segunda porciones de gases de escape y dirigir la primera y segunda porciones unidas a un segundo convertidor catalítico; e
- inyectar aire en uno seleccionado de (1) el conducto de escape no refrigerado, y (2) los gases de escape unidos refrigerados y no refrigerados después de la unión de los mismos.
13. Un método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos de los gases de escape de los motores de combustión interna, el método que comprende las etapas de:
- 30 transportar el escape del motor a un medio de conversión catalítica de la primera etapa, enfriar una primera porción del escape del motor en el medio de conversión catalítica de la primera etapa y retirar la primera porción refrigerada del medio de conversión catalítica a través de un primer conducto de salida;
- retirar una segunda porción no refrigerada del escape del motor del medio de conversión catalítica a través de un segundo conducto de salida;
- 35 inyectar aire en el segundo conducto de salida;
- transportar la segunda porción no refrigerada del escape del motor y el aire inyectado al segundo conducto de salida de gases de escape para unirse con la primera porción refrigerada del escape del motor en el segundo conducto de salida de gases de escape;
- dirigir el escape en el segundo conducto de salida de gases de escape a un convertidor catalítico de la segunda etapa; y
- 40 descargar el escape del convertidor catalítico de la segunda etapa;
- por lo cual se proporcionan gases de escape de motor con menor contenido de óxidos de nitrógeno y menor contenido de monóxido de carbono.
14. Un método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos de los gases de escape de los motores de combustión interna, el método que comprende las etapas de:
- 45 transportar el escape del motor a un convertidor catalítico de la primera etapa;
- transportar el escape del motor desde el convertidor catalítico de la primera etapa en parte a un medio de refrigeración y en parte a una derivación de medios de refrigeración;

- mezclar los gases de escape de los medios de refrigeración y los medios de refrigeración de derivación en un conducto de escape refrigerado;
- inyectar aire en el conducto de escape refrigerado;
- 5 dirigir los gases de escape desde los medios de refrigeración, y desde los medios de refrigeración de derivación, y el aire inyectado, a un convertidor catalítico de la segunda etapa; y
- descargar los gases de escape del motor del convertidor catalítico de la segunda etapa;
- por lo cual se proporcionan gases de escape de motor con menor contenido de óxidos de nitrógeno y menor contenido de monóxido de carbono.
- 10 15. Un conjunto para reducir los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos en los gases de escape del motor de combustión interna, el conjunto que comprende:
- un primer conducto de escape que tiene un extremo receptor de escape para conectarse y extenderse desde un motor de combustión interna;
- un medio de conversión catalítica de la primera etapa en comunicación con un extremo dispensador de dicho primer conducto de escape;
- 15 un conducto de salida para facilitar el movimiento de los gases de escape del motor desde dichos medios de conversión catalítica de la primera etapa;
- medios de refrigeración para enfriar los gases de escape del motor en dicho conducto de salida;
- un conducto de inyección de aire en comunicación con dicho conducto de salida para enfriar los gases de escape del motor; y
- 20 un convertidor catalítico de la segunda etapa en comunicación con dicho conducto de salida y que tiene una salida de emisión de escape.
16. El conjunto de acuerdo con el aspecto 15 en el que dichos medios de conversión catalítica de la primera etapa comprenden una pluralidad de convertidores catalíticos.
- 25 17. El conjunto de acuerdo con el aspecto 15 en el que dichos medios para enfriar comprenden bobinas para un medio de refrigeración.
18. El conjunto de acuerdo con el aspecto 15 en el que dichos medios para enfriar comprenden medios de inyección de medio de refrigeración, estando adaptado el medio de refrigeración para vaporizarse para reducir la temperatura de los gases de escape del motor dentro de dicho conducto de salida.
- 30 19. Un conjunto para reducir los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos en los gases de escape del motor de combustión interna, el conjunto comprende:
- un primer conducto de escape que tiene un extremo receptor de escape conectado y que se extiende desde un motor de combustión interna;
- un medio de conversión catalítica de la primera etapa en comunicación con un extremo dispensador de dicho primer conducto de escape;
- 35 medios de refrigeración en comunicación con dichos medios de conversión catalítica de primera etapa para enfriar los gases de escape del motor recibidos de dichos medios de conversión catalítica de la primera etapa;
- un conducto de escape refrigerado que se extiende desde dichos medios de refrigeración;
- un conducto de inyección de aire en comunicación con dicho conducto de escape refrigerado;
- un convertidor catalítico de la segunda etapa en comunicación con dicho conducto de escape refrigerado; y
- 40 una salida de escape que se extiende desde dicho convertidor catalítico de la segunda etapa.
20. El conjunto de acuerdo con el aspecto 19 en el que dichos medios de conversión catalítica de la primera etapa comprenden una pluralidad de convertidores catalíticos.
- 45 21. El conjunto de acuerdo con el aspecto 19 en el que dichos medios de refrigeración comprenden un medio de inyección del medio de refrigeración, el medio de refrigeración está adaptado para vaporizarse para reducir la temperatura de los gases de escape del motor.

22. Un método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos de los gases de escape de los motores de combustión interna, el método que comprende las etapas de:

transportar el escape del motor a un medio de conversión catalítica de la primera etapa;

retirar los gases de escape refrigerados del medio de conversión catalítica a través de un conducto de salida;

5 enfriar los gases de escape del motor en el conducto de salida;

inyectar aire en el conducto de salida;

dirigir el escape en el conducto de salida a un convertidor catalítico de la segunda etapa; y

descargar el escape del convertidor catalítico de la segunda etapa;

10 por lo que proporcionar gases de escape de motor de menor contenido de óxidos de nitrógeno y menor contenido de monóxido de carbono.

23. Un método de reducción de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos de los gases de escape de los motores de combustión interna, el método que comprende las etapas de:

transportar el escape del motor a un convertidor catalítico de la primera etapa;

transportar el escape del motor desde el convertidor catalítico de la primera etapa a un medio de refrigeración;

15 dirigir los gases de escape desde los medios de refrigeración a un conducto de escape refrigerado;

inyectar aire en el conducto de escape refrigerado;

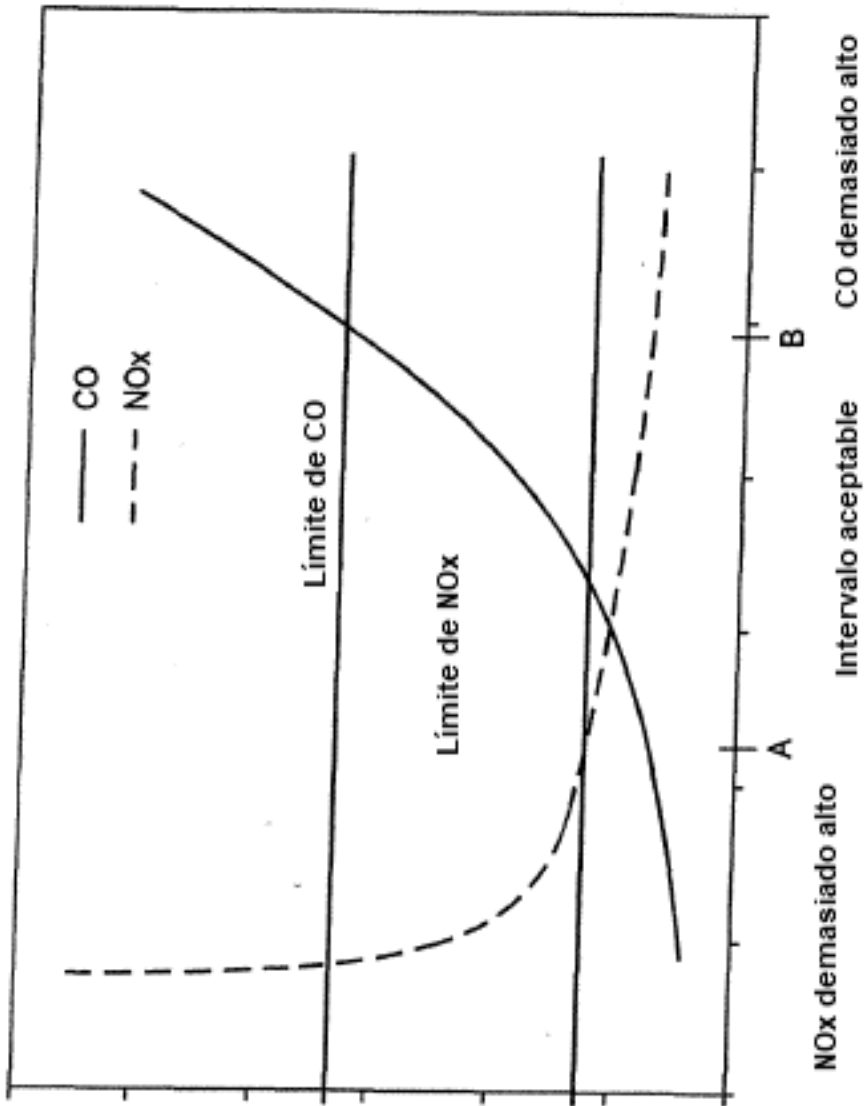
dirigir los gases de escape desde los medios de refrigeración, y el aire inyectado, a un convertidor catalítico de la segunda etapa; y

descargar los gases de escape del motor del convertidor catalítico de la segunda etapa;

20 por lo que proporcionar gases de escape de motor de menor contenido de óxidos de nitrógeno y menor contenido de monóxido de carbono.

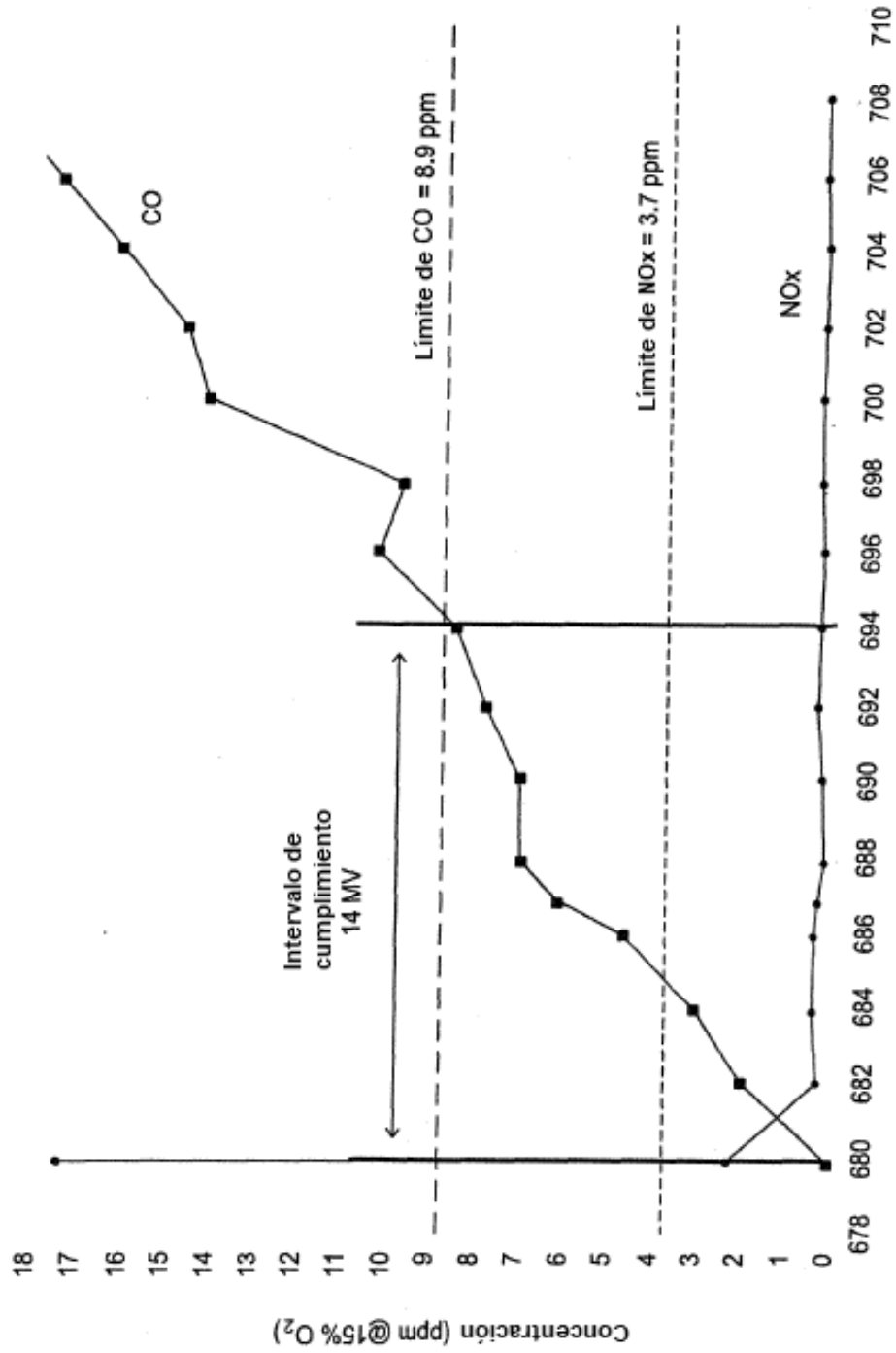
**REIVINDICACIONES**

1. Un método de operación de un sistema catalítico para reducir las emisiones de un motor encendido por chispa (20), que comprende:
- 5 hacer pasar los gases de escape a una cámara del catalizador de primera etapa que minimiza el contenido de NOx al reducir el NOx (a N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>);
- hacer pasar una primera porción de gases de escape que salen de la cámara del catalizador de la primera etapa a un medio (30, 58) de refrigeración y, de aquí, a un conducto de escape refrigerado, y hacer pasar una segunda porción de gases de escape que salen de la cámara del catalizador de la primera etapa a un conducto (29, 64) de gas de escape no refrigerado,
- 10 unir la primera y segunda porciones de gas de escape y hacer pasar los gases de escape unidos a una cámara de catalizador de segunda etapa que contiene un catalizador que minimiza el contenido de CO oxidando CO a CO<sub>2</sub>;
- inyectar aire en uno seleccionado de (i) el conducto de escape no refrigerado y (ii) los gases de escape unidos;
- en el que el conducto (30, 58) de escape refrigerado y el conducto de gas de escape no refrigerado (29, 64) se usan junto con una válvula de ajuste de temperatura para ajustar la temperatura del gas en la entrada de la cámara del catalizador de la segunda etapa a una T<sub>mix</sub> controlada = 198.8 - 271.1 °C (390-520 °F), y en el que la inyección de aire enriquece el contenido de oxígeno de manera que la concentración de oxígeno en una salida de la cámara de la segunda etapa está en el intervalo desde 0.25% a 1.0%.
- 15
2. El método de la reivindicación 1, en el que el motor (20) es un motor estacionario en aplicación combinada de calor y potencia (CHP).
- 20



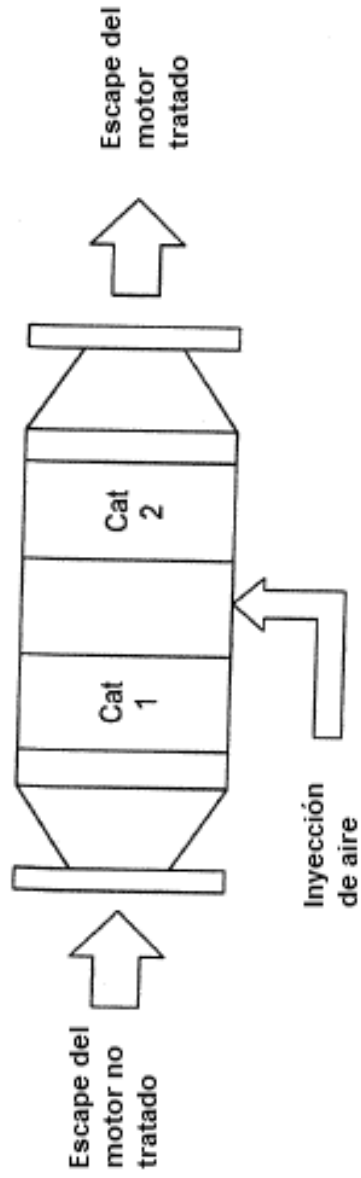
AFR (más rica →)  
Concentración de contaminantes  
Salida del Catalizador

**FIG. 1**  
(TÉCNICA ANTERIOR)



1/AFR medida por la salida del sensor de oxígeno de estilo automotriz en el conducto de flujo de escape aguas arriba del catalizador después del tratamiento (milivoltios). Los valores más altos indican mezclas más ricas

**FIG. 2**  
(TÉCNICA ANTERIOR)



**FIG. 3**  
(TÉCNICA ANTERIOR)

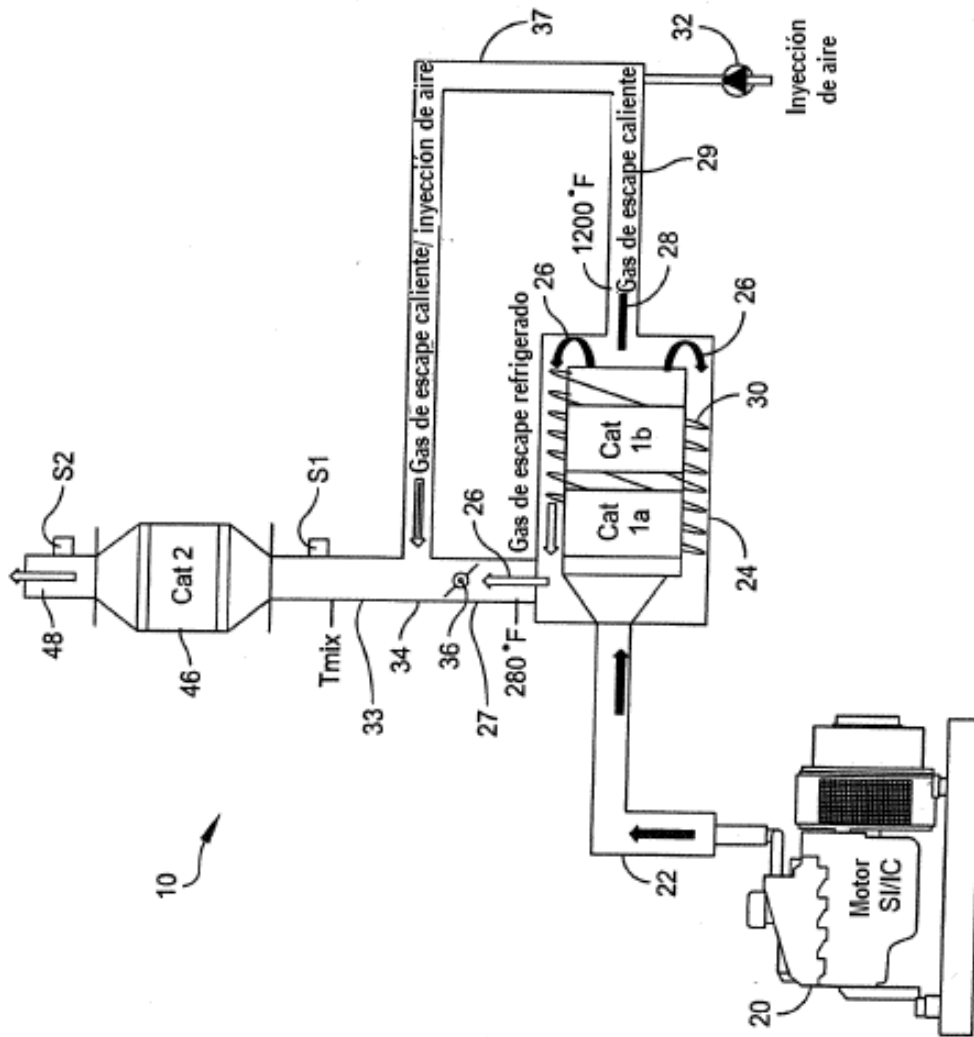


FIG. 4



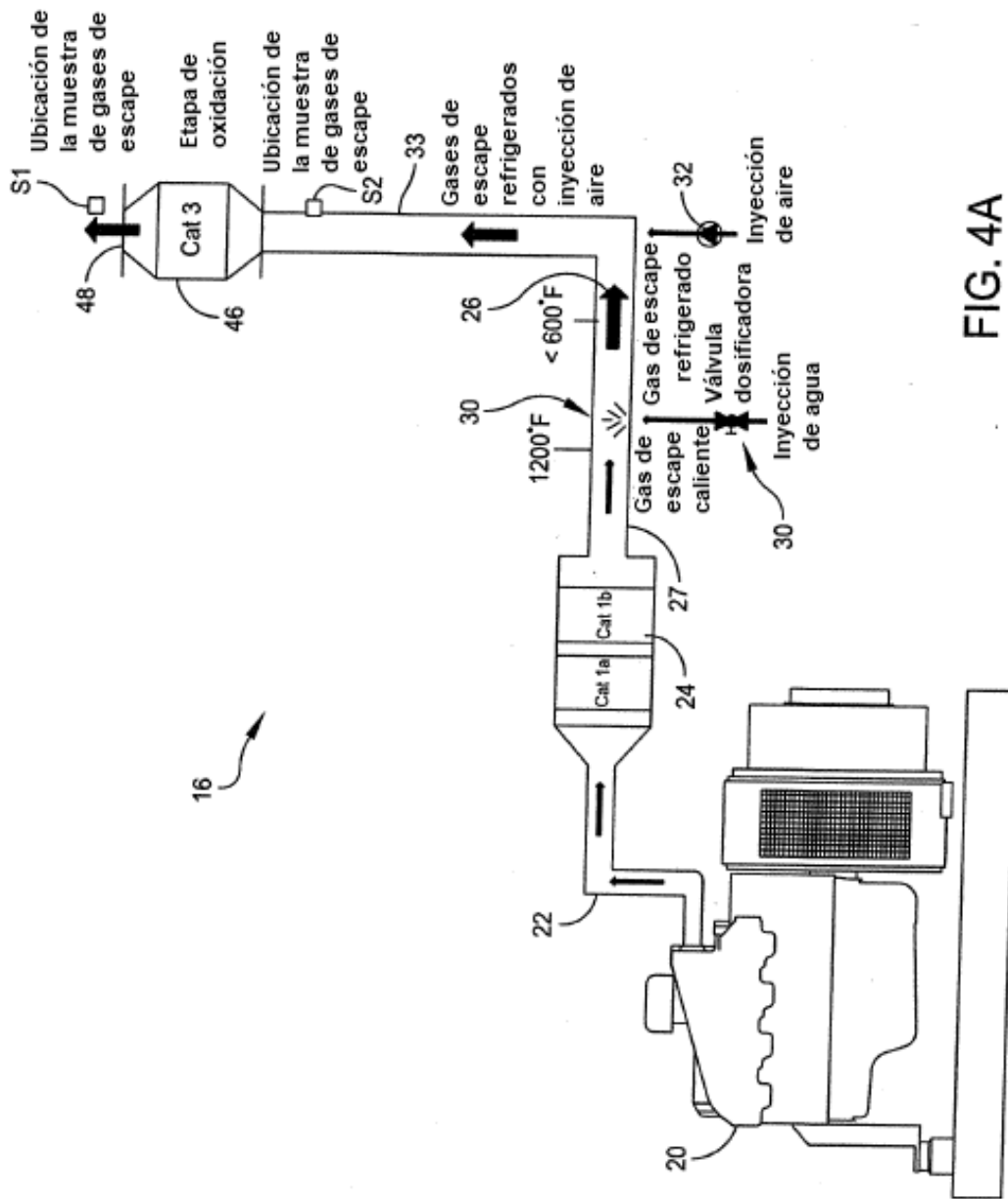


FIG. 4A

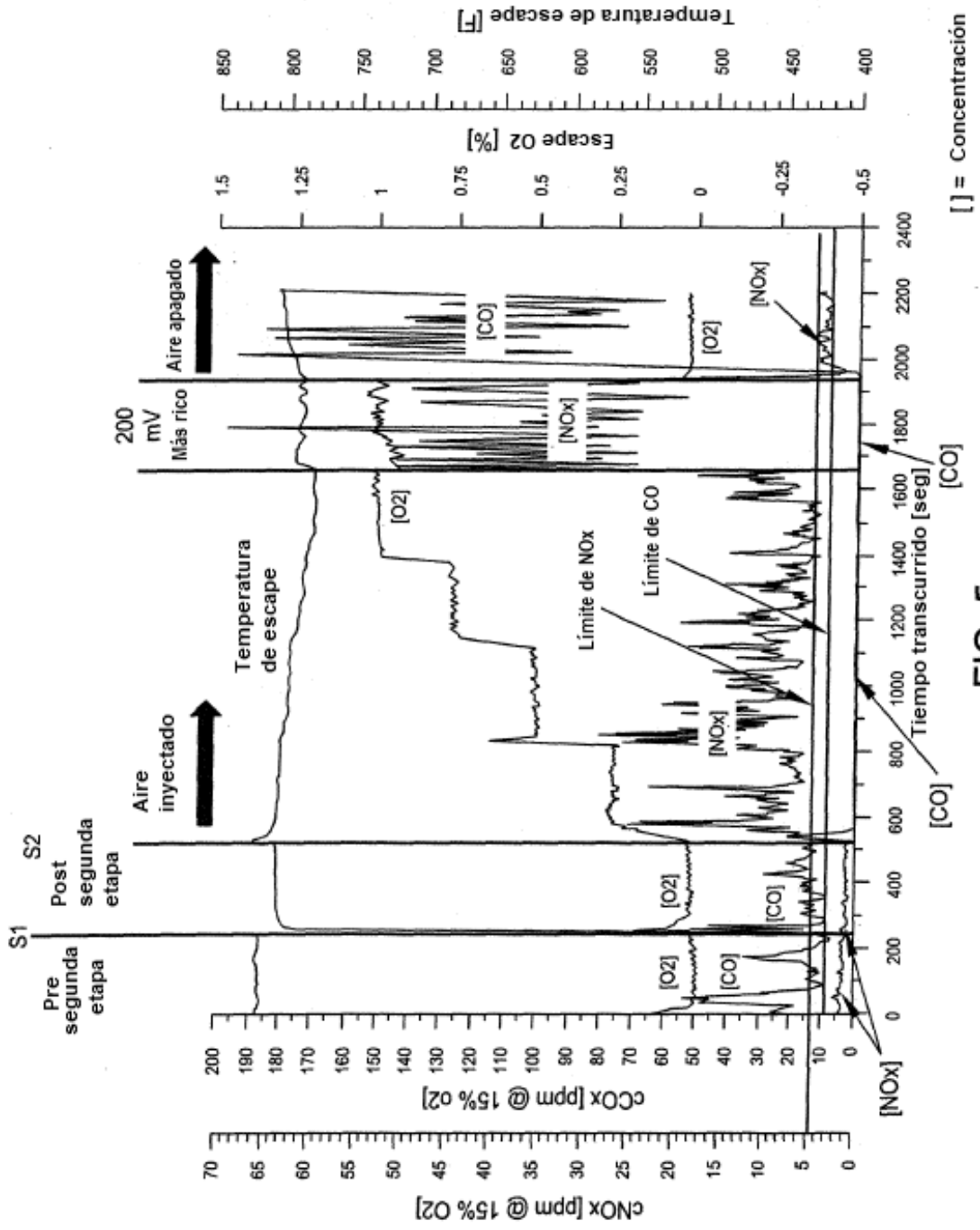


FIG. 5

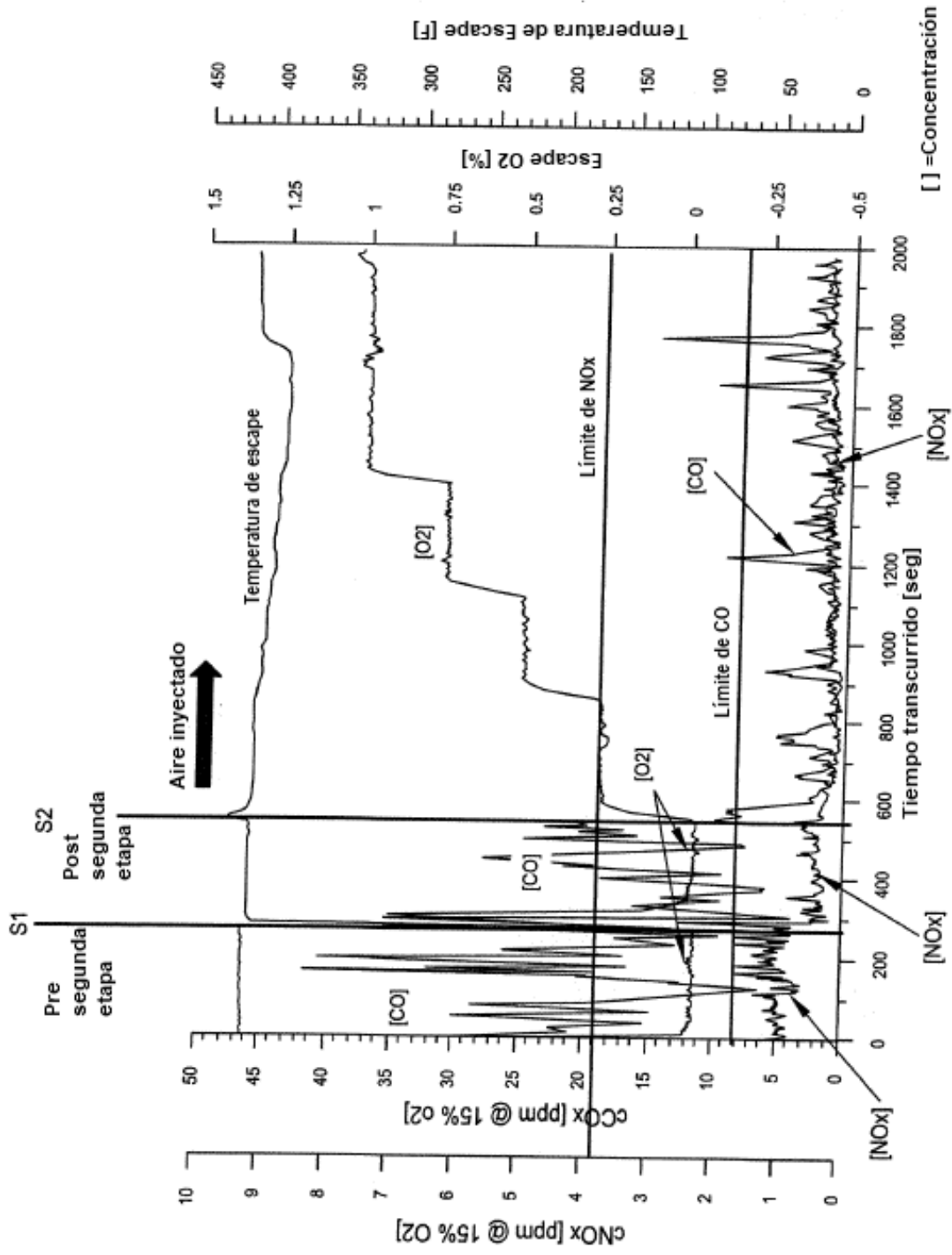
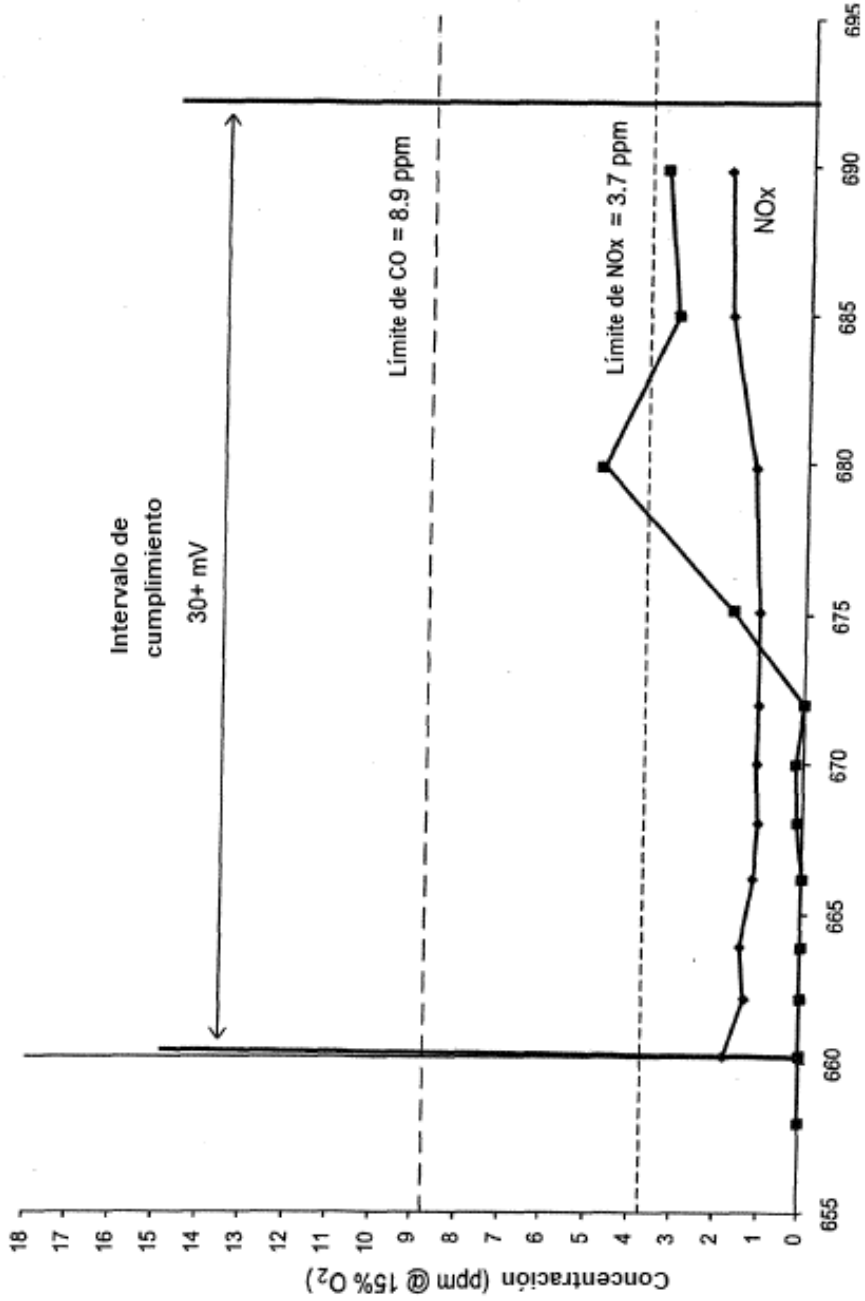


FIG. 6



1/AFR medida por la salida del sensor de oxígeno de estilo automotriz en el conducto de flujo de escape aguas arriba del catalizador después del tratamiento (milivoltios). Los valores más altos indican mezclas más ricas

FIG. 7

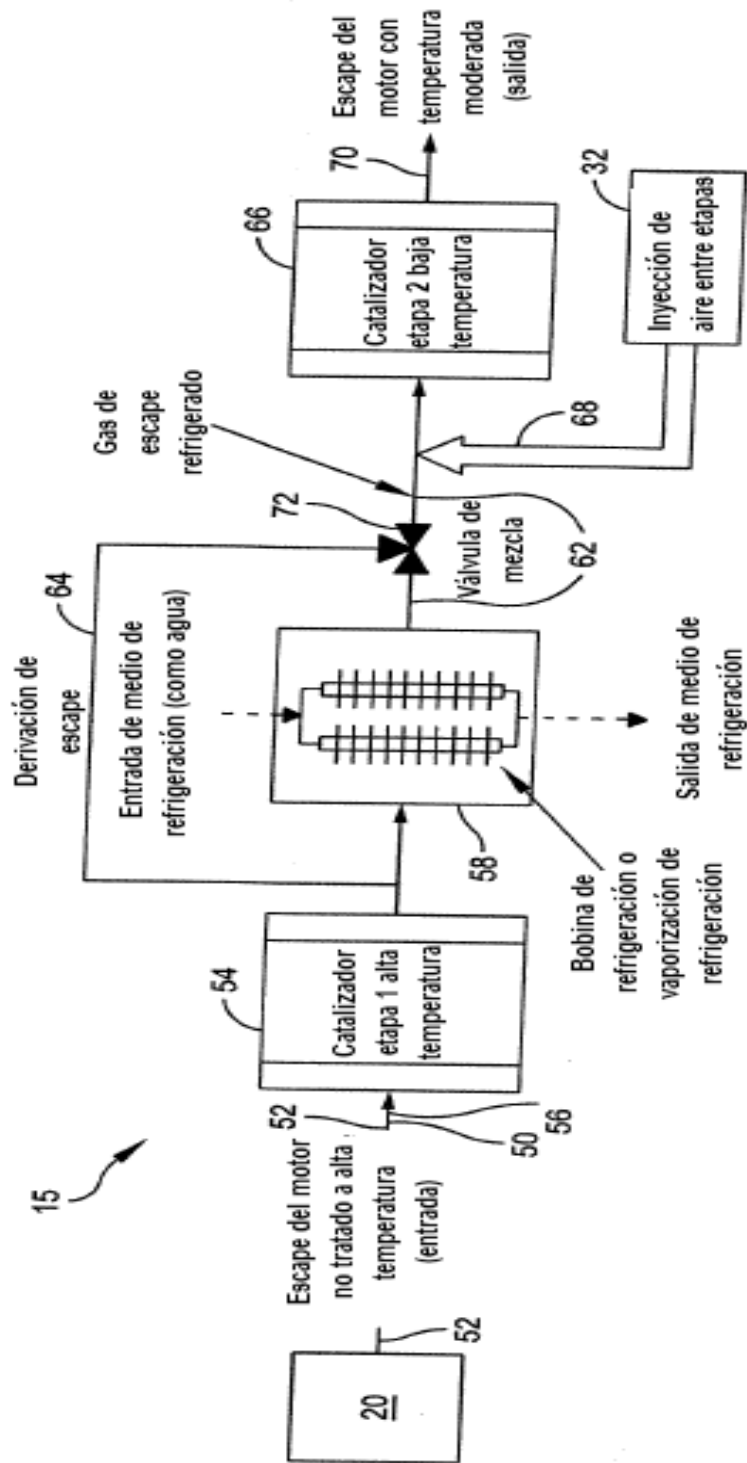


FIG. 8

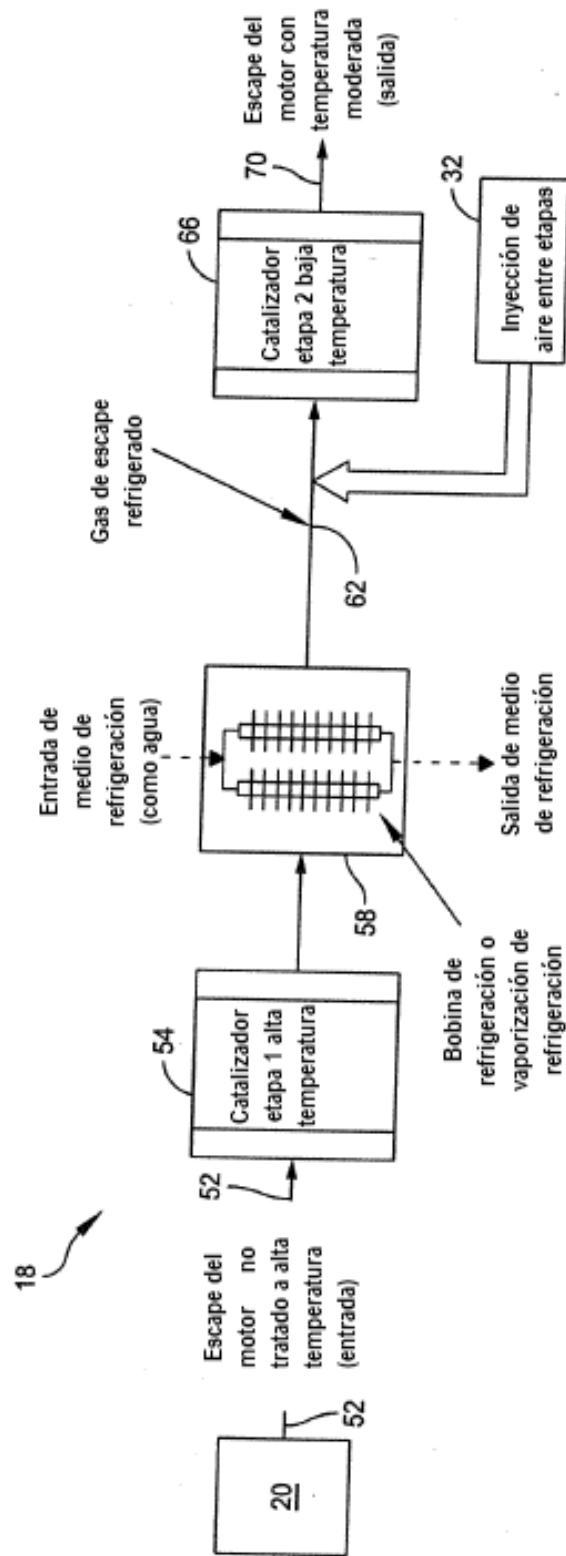


FIG. 8A