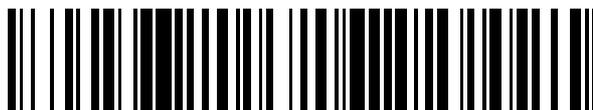


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 570 185**

51 Int. Cl.:

F02B 37/013 (2006.01)
F02B 37/10 (2006.01)
F02B 37/18 (2006.01)
F02B 39/12 (2006.01)
F02B 41/10 (2006.01)
F02B 37/14 (2006.01)
F02B 37/16 (2006.01)
F02B 37/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.05.2012 E 12730814 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.02.2016 EP 2715087**

54 Título: **Aparato motor sobrealimentado de tipo turbo-compound**

30 Prioridad:

30.05.2011 EP 11168087

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

17.05.2016

73 Titular/es:

FPT MOTORENFORSCHUNG AG (100.0%)
Schlossgasse 2
9320 Arbon, CH

72 Inventor/es:

MAIER, CHRISTIAN

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 570 185 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

Aparato motor sobrealimentado de tipo turbo-compound

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un aparato motor sobrealimentado de tipo turbo-compound y su método de control operativo, en particular para vehículos industriales. La invención tiene aplicación también en el campo de los motores marinos, en vehículos de transporte y en aplicaciones agrícolas, independientemente del tipo de combustible, gasolina, diesel o gas.

Descripción de la técnica anterior

10 La turboalimentación de dos etapas ha sido propuesta como un medio para conseguir un alto rendimiento en motores, en particular en motores diesel para trabajos pesados, tales los destinados a los vehículos industriales o barcos. Dos turbosobrealimentadores están colocados en serie en la línea de admisión del motor, impulsados por unas turbinas colocadas en la línea de escape, que también pueden estar colocadas en serie, o dispuestas de otra manera.

15 La solución de turbo-compound comprende dos turbinas colocadas en serie en la línea de escape, en donde la de baja presión está conectada al cigüeñal del motor diesel por medio de un engranaje reductor. Por lo tanto, tal segunda turbina proporciona un par motor suplementario al motor.

20 Un esquema de turbo-compound doble está descrito por la patente EP2042705. Muestra una turbina de alta presión y una turbina de baja presión dispuestas en la línea de escape. Tales turbinas pueden estar colocadas en paralelo o en serie una con otra por medio de unas conexiones y unas válvulas de reducción apropiadas, especialmente cuando las dos turbinas están configuradas en paralelo, debido a las características diferentes de las dos turbinas.

La turbina de alta presión está conectada mecánicamente con un sobrealimentador de alta presión.

25 La turbina de baja presión está conectada al cigüeñal por medio de un enlace mecánico. El enlace comprende un medio para reducir las variaciones de la velocidad, situado entre la segunda turbina y el cigüeñal, como en el caso de los motores de tipo turbo-compound convencionales. Por otra parte, tal enlace mecánico conecta también un sobrealimentador de baja presión, dispuesto en la línea de admisión, aguas arriba con respecto a un sobrealimentador de alta presión, estando este último conectado a la admisión del motor de combustión.

30 Un compresor impulsado y una turbina de potencia están acoplados al motor por medio de un embrague hidrodinámico y un engranaje reductor. El fin del embrague hidrodinámico es reducir la oscilación del par motor desde el cigüeñal a los engranajes de la turbomaquinaria. Una función adicional del embrague en la patente EP2042705 es conectar y desconectar del motor el compresor impulsado y la turbina de potencia. Esta función facilita que el sistema funcione como un turboalimentador de baja presión de funcionamiento libre con algunas pérdidas adicionales por fricción del engranaje.

La patente WO 2010/066452 enseña a gestionar el deslizamiento del impulso del embrague hidrodinámico para controlar la contrapresión, de los gases de escape y la EGR.

35 El sobrealimentador de baja presión recibe una energía mecánica del motor o también de la turbina de baja presión a través de tal enlace.

40 La patente DE 102005003714 muestra un sistema de doble expansión de dos etapas. Gracias a este esquema el compresor de baja presión impulsado necesita mucha energía para generar una sobrealimentación. No obstante, la posibilidad de control del compresor de baja presión impulsado mecánicamente es difícil de manejar. Un esquema clásico del turbo-compound es capaz de proporcionar una reducción en el consumo de combustible, situada entre el 5% y el 10%, y una mejor densidad de potencia situada entre el 100% y el 110%, con respecto a un motor de combustión provisto de una geometría de turbina variable (VTG).

45 La densidad de potencia se define como Potencia (kW) / desplazamiento del motor [(litro)] denominada salida de potencia específica. Esta salida está entre 30-34 kW/l para los modernos sistemas diesel para trabajos pesados con la VTG controlable electrónicamente. Los sistemas de dos etapas y de doble expansión de dos etapas pueden alcanzar 50 kW/l.

Por el contrario, una disposición clásica turboalimentada de dos etapas es capaz de proporcionar una reducción de consumo de combustible inferior, situada entre 0% y 5% y una mejor densidad de potencia situada entre 115% y 130% con respecto a un esquema de la VTG.

50 El término turboalimentador es sinónimo de sobrealimentador o compresor.

También se conoce, un denominado "esquema de tipo turbo-compound eléctrico" que comprende un sobrealimentador de alta presión conectado axialmente con una turbina de alta presión y una turbina de baja presión

5 conectadas con un generador eléctrico que produce energía eléctrica. Un motor eléctrico también está conectado con el cigüeñal del motor de combustión. Un primer inversor convierte la energía producida por el generador eléctrico en una corriente continua inyectada en una barra de distribución de CC, y un segundo inversor, conectado con dicha barra de distribución de CC, es adecuado para el suministro de potencia al motor eléctrico, que suministra un par motor suplementario al motor de combustión.

Resumen de la invención

10 Por lo tanto, el principal objetivo de la presente invención es proporcionar un método para controlar un aparato motor que permita reducir el consumo de combustible y aumentar la densidad de potencia. Dentro de este fin, un primer objeto de la presente invención es proporcionar un método para controlar un aparato motor que permita aumentar la potencia de frenado del motor y mejorar la estrategia de recuperación.

15 Este punto esencial y estos objetivos se consiguen mediante un método para controlar un aparato motor como está indicado en la Reivindicación 1. Como se especifica más adelante, se pueden conseguir muchas ventajas por medio de la presente invención. Primeramente, en el aparato motor las ventajas de los sistemas de turboalimentación de dos etapas simples y de los sistemas de tipo turbo-compound dobles están concentrados en un esquema de aparato motor. En segundo lugar, por el método de control de acuerdo con la invención es posible aumentar la potencia de frenado del motor y mejorar la estrategia de recuperación de energía. A la vista de las conexiones entre las turbinas y los sobrealimentadores del aparato motor, el esquema de esta invención también se denomina "motor de tipo turbo-compound con turboalimentación de dos etapas inversa".

En particular, el esquema del aparato motor comprende:

- 20 a. un compresor de baja presión impulsado por la turbina de alta presión a través de un eje;
- b. una turbina de alta presión y una turbina de baja presión conectadas en serie a lo largo de la línea de escape;
- c. un compresor de baja presión y un compresor de alta presión conectados en serie a lo largo de la línea de admisión.

25 El esquema del aparato motor permite una pluralidad de configuraciones operativas diferentes que cada una de las cuales conduce a un correspondiente modo operativo posible. En una configuración posible, por ejemplo el aparato motor permite aumentar el efecto de frenado del motor, en tanto que en otra configuración el aparato motor puede ser usado, por ejemplo, para regular la intervención de un Sistema de Recirculación de Escape. La presente invención permite reducir el consumo de combustible para aumentar la densidad de potencia a fin de mejorar el rendimiento transitorio del motor para aumentar la potencia de frenado del motor y para mejorar la estrategia de recuperación.

30

Las reivindicaciones dependientes describen unas realizaciones preferidas de la presente invención, que forman una parte integrante de la presente descripción

Breve descripción de los dibujos

35 La invención se verá claramente a partir de la siguiente descripción detallada, dada a modo de un ejemplo simple y no limitativo, para ser leída con referencia a las figuras del dibujo anejo, en donde:

- la Figura 1 muestra una realización de un aparato motor híbrido de acuerdo con la invención;
 - la Figura 2 muestra una comparación entre el rendimiento del aparato conocido y un aparato de acuerdo con la presente invención;
 - las Figuras 3-5 muestran una comparación de varios sistemas de sobrealimentación aplicados al mismo estado límite del motor.
- 40

Los mismos números y letras de referencia en las figuras designan las mismas o funcionalmente equivalentes partes.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

45 La Figura 1 es una ilustración esquemática de un aparato motor de acuerdo con la presente invención. El aparato motor, por ejemplo de un vehículo industrial, de un barco o de otro tipo, comprende el motor de combustión interna 1, el cual puede ser un motor diesel.

El aparato motor, por ejemplo de un vehículo industrial, de un barco o de cualquier otro tipo, comprende el motor de combustión interna 1, el cual puede ser un motor diesel. El aparato comprende una línea de admisión 2 del motor 1 y una línea de escape 20. Partiendo de la admisión de aire fresco, en dicha línea de admisión 2 están secuencialmente conectados, de acuerdo con el camino del aire fresco,

50

- una unidad de compresor de baja presión (LPC) 11,
- un refrigerador del aire de alimentación de baja presión (LPCAC) 12,
- un compresor de alta presión (HPC) 5,
- un refrigerador del aire de alimentación a alta presión (HPCAC) 13.

5 La línea de admisión 2 comprende unos primeros medios de puenteo 3, 4 para puentear el HPC 5. Con más detalle, tales medios de puenteo comprenden un tubo 3 y una válvula 4. Un primer extremo y un segundo extremo del tubo 3 están conectados respectivamente aguas arriba y aguas abajo del HPC. Con referencia a la línea de escape 20, que arranca del motor 1, en dicha línea de escape 20 están secuencialmente conectados, de acuerdo con el camino de los gases de escape, una turbina de alta presión (HPT) 6 y una turbina de baja presión (LPT) 7.

10 La persona experta en la técnica sabe lo que significa turbina de “baja presión” o de “alta presión” y lo que significa “sobrealimentadores de baja presión o de alta presión” en cuanto a masas de flujo, presiones y entalpías y a la vista de las conexiones en serie de tales componentes. Por lo tanto, también está claro que “alto” o “bajo” definen claramente las características de un sobrealimentador o de una turbina en este contexto. A este respecto en la descripción que sigue el término “compresor” y el término “sobrealimentador” se usan con el mismo significado. Con
15 referencia nuevamente a la Figura 1, el refrigerador de alimentación de baja presión 12 y el refrigerador de aire de alimentación de alta presión 13 son opciones.

De acuerdo con la invención, el LPC 11 está conectado de forma directa y operativa a la HPT 6. Más precisamente, el LPC 11 es impulsado por la HPT 6 por medio de un eje axial 61. Por otra parte, la HPT 6 está preferiblemente conectada al motor 1 por una doble conexión (entrada gemela). Esta solución permite un mejor rendimiento
20 transitorio a baja velocidad ganando la pulsación de la presión del colector de escape en un motor de cilindros en línea. A este respecto, la conexión directa del motor está raramente sometida a una presión de escape constante. En pulsomotores diesel turboalimentados las turbinas de entradas gemelas permiten que las pulsaciones de los gases de escape sean optimizadas debido a que se alcanza en un período de tiempo más corto una relación más alta de presión de la turbina. De este modo, mediante el aumento de la relación de presión, un flujo de chorro
25 positivo, mejorando el muy importante intervalo de tiempo cuando un flujo de masa con alta densidad está pasando a través de las turbinas. Como consecuencia de esta utilización mejorada de la energía de los gases de escape, se mejoran las características de la presión de sobrealimentación del motor, y por tanto, el comportamiento del par motor, particularmente a velocidades bajas del motor.

Como se muestra en la Figura 1, con el fin de impedir que los diversos cilindros interfirieran entre sí durante los ciclos de intercambio de alimentación, la mitad del número de cilindros están conectados en un colector 20 de gases de escape que forma la “salida” de dicho motor de combustión 1. Por lo tanto, las entradas gemelas del HPT 6 permiten que el flujo de gases de escape fluya para ser alimentado separadamente a través de la turbina.

De acuerdo con una primera realización principal, el HPC 5 está rotacionalmente asociado con la LPT 7 a través de una unidad de acoplamiento 10. La última preferiblemente comprende un “primer conjunto de engranajes” (no
35 mostrado en detalle en la figura 1) por medio del cual el movimiento rotacional es transferido del eje 8 de la LPT 7 al compresor HPC 5. El primer conjunto de engranajes tiene una relación de velocidad adecuada entre el eje 8 de la LPT 7 y el HPC 5. La unidad de acoplamiento 10 comprende también un embrague hidráulico por medio del cual la LPT 7 y el HPC 5 pueden ser conectados de forma mecánica y rotacional con el cigüeñal del motor de combustión 1. En particular tal conexión mecánica (el LPC 7 y el HPC 5 con el motor 1) se realiza cuando es “activado” el
40 embrague hidráulico. Por el contrario, cuando es “desactivado” el embrague hidráulico entonces el HPC 5 se conecta solamente a la LPT 7 (véase más adelante). La unidad de acoplamiento 10 comprende también un “segundo conjunto de engranajes” destinado a asegurar una relación de velocidad adecuada entre el cigüeñal del motor 1 y la LPT 7 y el compresor HPC 5.

Por lo tanto de acuerdo con la invención, el compresor HPC 5 está de forma directa y permanente conectado a la
45 unidad de acoplamiento 10. Esto significa que el HPC 5 está permanentemente conectado a la LPT 7 y dado el caso también con el cigüeñal del motor si el embrague hidráulico es activado. Siempre de acuerdo con la invención, el trabajo del HPC 5 es controlado por medio de los primeros medios de puenteo 3, 4 antes indicados. Con más detalle, cuando los primeros medios de puenteo 3, 4 son activados/operados (esto es, cuando la válvula 4 está abierta) el flujo de aire que viene del LPC 11 es puentado en la tubería 3 y el HPC 5 no realiza relación de
50 compresión alguna. En tal estado (primeros medios de puenteo 3, 4 activados/abiertos) sustancialmente todo el flujo de aire pasa a través de la tubería 3, el propulsor del compresor HPC 5 continúa funcionando debido a su conexión con la LPT 7 y/o con el motor. No obstante, no se realiza una compresión del flujo de la masa de aire. En otras palabras, el trabajo del HPC se reduce debido a las pérdidas mecánicas. Con más detalle, en el flujo de la masa de aire que circula a través del puenteo desde después del HPC 5 hasta la entrada del HPC 5 (flujo hacia atrás) el HPC
55 5 realizará una entrega de flujo volumétrico sin un trabajo de compresión.

Por lo tanto, el trabajo de compresión realizado por el compresor HPC 5 depende de la activación/desactivación de los primeros medios de puenteo 3, 4. El principio de funcionamiento del compresor HPC 5 es por lo tanto ventajosamente poco complejo y más fiable. Esto es particularmente importante para aplicaciones industriales.

De acuerdo con una realización preferida, el aparato motor comprende unos segundos medios de puenteo 21, 23 (que comprenden un segundo tubo 21 y una segunda válvula 23) para puentear la HPT 6 y unos terceros medios de puenteo 25, 26 (que comprenden un tercer tubo 25 y una tercera válvula 26) para puentear la LPT 7.

5 Cuando los segundos medios de puenteo 23, 21 son activados los gases de escape que vienen de la salida del motor 1 no cruzan la HPT 6. En tal estado la HPT 6 no opera el LPC 11. Los segundos medios de puenteo 23, 21 son ventajosamente activados con el fin de proteger el LPC 11 de una sobrevelocidad cuando el embrague hidrodinámico de la unidad de acoplamiento 10 es desacoplado/desactivado. De hecho, en tal estado la LPT 7 (en su modo de funcionamiento libre) no genera una contrapresión suficiente para frenar la HPT 6. En vez de ello, dichos segundos medios de puenteo 21, 23 permiten controlar la velocidad de la HPT 6 y por lo tanto la velocidad del LPC 11 conectado de este modo.

10 Cuando los terceros medios de puenteo 25, 26 son activados los gases de escape que vienen de la HPT 6 no entran en la LPT 7. En particular los terceros medios de puenteo 25, 26 son activados durante el modo de frenado del motor. En tal estado el embrague hidrodinámico es activado y activando los terceros medios de puenteo 25, 26 la LPT 7 no entrega energía al mismo embrague hidráulico y por lo tanto al motor. En esta situación, desactivando los primeros medios de puenteo (válvula 4 cerrada), el motor tiene que impulsar el HPC 5. Esta pérdida de potencia del motor debida a la operación del HPC 5 es bienvenida en el modo de frenado del motor.

De acuerdo con la presente invención el aparato motor 1 antes explicado puede ventajosamente trabajar al menos de acuerdo con las siguientes configuraciones operativas:

20 - una primera configuración denominada "configuración de una sola etapa" en la que el LPC 11 y la HPT 6 están activados y en donde la LPT 7 y el HPC 5 están desactivados. En tal configuración los primeros medios de puenteo 3, 4 están activados (lo que significa que el flujo de la masa de aire pasa a través de la tubería 3 y la válvula 4); al mismo tiempo también los terceros medios de puenteo 25, 26 están activados de modo que la LPT sea puenteadas;

25 - una segunda configuración en la que el LPC 11 y la HPT 6 están activados y en la que la LPT 7 está desactivada y la HPT 5 está funcionando; en particular la LPT 7 es desactivada activando los terceros medios de puenteo (los gases de escape fluyen a través de la tubería 25 y la válvula 26); como ya se ha indicado anteriormente, el aparato trabaja en esta segunda configuración durante el modo de frenado del motor;

30 - una tercera configuración en la que el LPC 11 y la HPT 6 están desactivados y en la que la LPT 26 y el HPC 5 están activados; en particular en tal configuración el LPC 11 y la HPT 6 son desactivados activando los segundos medios de puenteo (los gases de escape fluyen a través de la tubería 21 y la válvula 23 que está abierta); esta configuración permite ventajosamente calentar el dispositivo de después del tratamiento del aparato motor;

35 - una cuarta configuración en la que el LPC 11 y la HPT 11 están activados y en la que la LPT 7 y el HPC 5 están en funcionamiento libre; en particular en tal configuración el embrague hidráulico de la unidad de acoplamiento 10 está desactivado y por lo tanto no se transmite par motor alguno desde la LPT 7 al motor 1; por lo tanto en tal configuración los primeros medios de puenteo 3, 4 están desactivados/cerrados (en particular pueden ser activados en una alta demanda de sobrealimentación y desactivados en una baja demanda de sobrealimentación), mientras que los segundos medios de puenteo 21, 23 y los terceros medios de puenteo 26, 25 están desactivados);

40 - una quinta configuración denominada "configuración de etapa doble" en la que el LPC 11 y la HPT 11 están activados y en la que también la LPT 7 y el HPC 5 están conectados operativamente al motor por medio del embrague hidráulico; con detalle dicho embrague hidráulico es activado para transmitir un par motor de la LPT 7 al motor 1; también en esta quinta configuración los primeros medios de puenteo 3, 4 están desactivados/cerrados así como los segundos medios de puenteo 21, 23 y los terceros medios de puenteo 26, 25 están desactivados.

45 El aparato motor de acuerdo con la invención comprende unos medios de control, que comprenden por ejemplo una unidad de control electrónico (ECU), la cual controla la activación/desactivación de los primeros medios de puenteo 3, 4 así como preferiblemente la activación/desactivación del segundo puenteo 25, 26 de los terceros medios de puenteo 21, 23 y también el elemento de acoplamiento 10 que es el embrague hidráulico antes indicado. Los medios de control ECU sustancialmente controlan y gestionan el aparato motor propiamente dicho para cambiar la configuración operativa del aparato propiamente dicho de una a otra.

50 El aparato motor comprende también unos primeros medios de detección, conectados operativamente a los medios de control ECU, para detectar la temperatura de dichos gases de escape. En particular tal temperatura es detectada en dicha línea de escape antes de la HPT 6. El aparato motor comprende también unos segundos medios de detección de dicho valor Lambda conectados operativamente a los medios de control ECU. Dichos segundos medios de detección preferiblemente comprenden al menos un sensor de presión y al menos un sensor de temperatura dispuestos a lo largo de la línea de admisión y conectados a los medios de control ECU (antes indicados) con el fin de calcular el valor Lambda. Con más detalle los medios de control ECU calculan la demanda de combustible y el flujo de la masa de aire por medio de la presión de sobrealimentación y la temperatura medida respectivamente por dicho al menos un sensor de presión y dicho al menos un sensor de temperatura de dichos segundos medios de

detección. De acuerdo con una solución alternativa, los segundos medios de detección podrían comprender un sensor Lambda apropiado conectado operativamente a los medios de control ECU antes indicados.

5 El aparato motor comprende preferiblemente también unos medios de frenado del motor y un sensor de la velocidad de giro del motor que puede ser, por ejemplo, el sensor tradicionalmente montado en un volante del motor de combustión. Por otra parte, el aparato preferiblemente comprende también al menos un sensor del par motor para detectar el par motor. También el sensor del par motor está conectado operativamente a los medios de control ECU. Además, un “mapa de combustible” está preferiblemente almacenado en los medios de control ECU. Sobre la base de este mapa de combustible y de la información que viene del sensor del par motor los medios de control ECU activan el frenado del motor.

10 Se ha de tener en cuenta que en las soluciones conocidas los medios de control no están conectados a un sensor del par motor. En particular en las soluciones conocidas, durante el modo de encendido, en el “mapa de combustible” se ve que el par motor comprende datos relativos a la velocidad del motor, el par motor y la masa de combustible. Normalmente, el “mapa de combustible” es definido y controlado en bancos de prueba. En las soluciones tradicionales, siguiendo una solicitud del conductor, los medios de control entregan la masa de combustible sobre la base del mapa de combustible, pero no hay retroalimentación alguna del motor en cuanto al par motor. Por otra parte, en las soluciones tradicionales durante el modo de frenado los medios de control no detectan alimentación de combustible y el valor del par de frenado también viene del “mapa de frenado” que contiene datos relativos a la velocidad del motor y al par de frenado. También este “mapa de frenado” es definido y calibrado en bancos de prueba.

20 De forma diferente en la presente invención la presencia de un sensor del par motor que comunica con los medios de control ECU permite controlar las variaciones del motor y en particular la causa de tales variaciones. Esto permite mantener las variaciones del motor en un margen muy estrecho y compensar el envejecimiento y el desgaste durante el tiempo de vida útil.

25 A este respecto, si se detecta una inyección activa entonces el freno del motor no puede ser activado. Por el contrario, si no hay una inyección de combustible y si la velocidad del motor es superior a un valor preestablecido (por ejemplo 1.000 rpm), entonces se puede activar el freno del motor.

De acuerdo con la invención, la estrategia del aparato motor 1 comprende el paso de desactivar dichos primeros medios de puenteo 3, 4 cuando ocurre al menos una de los siguientes estados:

- a) la temperatura de escape supera un valor predefinido (por ejemplo 700°C);
- 30 b) los valores Lambda son inferiores a un valor predefinido;
- c) la relación de presión en la línea de admisión (2) supera al menos un valor de la sobrepresión del compresor de baja presión LPC 11;
- d) los medios de frenado del motor están activados;
- e) la velocidad de giro del motor es inferior a un valor predefinido.

35 En otras palabras, de acuerdo con la invención, partiendo sustancialmente de la primera configuración operativa antes indicada (“configuración de una única etapa”), cuando al menos se verifica una de las condiciones a)-e) entonces los primeros medios de puenteo 3, 4 están sustancialmente cerrados de modo que el flujo de la masa de aire pasa a través del HPC 5 para ser comprimida. En tal estado, el HPC 5 puede trabajar activamente en el flujo de la masa de aire. Por el contrario, cuando los primeros medios de puenteo 3, 4 están activados entonces el HPC 5 funciona sustancialmente sin realizar compresión alguna del flujo de aire. Los estados a)-e) antes indicados son comprobados por los medios de control ECU que subsiguientemente intervienen en los primeros medios de puenteo 3, 4 del aparato motor. Los medios de control ECU pueden comprobar todos los estados a)-e) antes de intervenir en los primeros medios de puenteo 3, 4. Alternativamente, los medios de control ECU pueden intervenir tan pronto como se detecta uno de tales estados a)-e) independientemente del otro control.

45 En particular, cuando ocurre el estado indicado en el punto a) entonces intervienen los medios ECU desactivando los primeros medios de puenteo 3, 4 y consiguientemente activando operativamente el HPC 5 con el fin de producir una sobrealimentación de aire adicional, para elevar el valor Lambda y para reducir la temperatura de combustión. Con referencia al estado indicado en el punto b), el valor Lambda es calculado por los medios de control ECU a partir de la relación aire combustible de acuerdo con la fórmula siguiente:

50
$$\text{Lambda} = \text{AFR} / \text{AFR}_{\text{estequiométrica}}$$

en donde $\text{AFR} = m_{\text{aire}} / m_{\text{combustible}}$ y $\text{AFR}_{\text{estequiométrica}}$ se define como 14.545 para el Diesel. Se ha observado que la mejor eficiencia con el menor humo se alcanza cuando el Lambda alcanza unos valores comprendidos en el intervalo entre 1,4 - 1,8. Cuando el valor Lambda, calculado por los medios de control ECU (véase antes) o alternativamente detectado por un sensor Lambda, se sale de este intervalo, entonces los primeros medios de

punteo 3, 4 son activados/desactivados según sea el caso. En particular, si en el HPC 5 el valor Lambda es menor que 1,4 los primeros medios de punteo 3, 4 son desactivados (válvula 4 cerrada). En la práctica la válvula 4 de punteo se cierra cuando el valor Lambda es demasiado bajo (inferior a 1,4). En tal estado el embrague del elemento de acoplamiento 10 es conectado con el fin de conseguir el Lambda solicitado. Si el propio valor Lambda se mantiene demasiado bajo incluso en tal estado (primeros medios de punteo 3, 4 desactivados y embrague activado), entonces la estrategia de control desactivará el embrague y se cambia la configuración operativa de la primera configuración ("configuración de una única etapa") a la cuarta configuración del aparato motor antes indicada con el fin de tratar de alcanzar el Lambda solicitado. En particular en tal cuarta configuración los primeros medios de punteo 3, 4 están desactivados y la LPT y el HPC 5 funcionan libres como un turboalimentador con una velocidad más alta sin conexión al cigüeñal del motor de combustión 1. Por el contrario, cuando el valor Lambda es mayor de 1,8 entonces los primeros medios de punteo 3, 4 son desactivados (válvula 4 abierta).

Con referencia al anterior estado en el punto c), cuando el aparato motor está, por ejemplo, en la configuración de una única etapa, a una velocidad baja del motor (que es en flujo bajo de la masa de aire) la relación de la presión del compresor LPC 11 (que es la relación entre las presiones aguas arriba y aguas abajo del LPC 11) tiene que ser aumentada con el fin de aumentar el par motor en el motor. Esto se hace desactivando los primeros medios de punteo 3, 4.

El mapa de trabajo del LPC 11 está claramente limitado por la línea de sobrepresión en una presión en aumento. Operando el compresor LPC 11 sobre la línea de sobrepresión los impulsos inestables destruirían el propulsor. La situación de la línea de sobrepresión en el mapa de trabajo del LPC 11 depende del diseño del compresor y del fabricante. De acuerdo con la invención, con el fin de aumentar la relación de presión en un flujo bajo de la masa de aire se usa el HPC 5. Seccionando la relación de presión desde uno (LPC) a dos compresores (LPC y HPC) se podría alcanzar una relación de presión mayor sin cruzar la línea de sobrepresión del LPC 11. Está claro que en un flujo de masa mayor el compresor único (LPC) podría alcanzar sin sobrepresión la relación de presión solicitada, de modo que los primeros medios de punteo 3, 4 puedan ser activados y el HPC 5 puede ser desconectado.

Con referencia al estado indicado en el punto d), durante la fase de frenado del motor del vehículo, los primeros medios de punteo 3, 4 son desactivados (el HPC 5 trabaja activamente en el flujo de la masa de aire) con el fin de aumentar la potencia de frenado del motor. En particular, desactivando los primeros medios de punteo 3, 4, el HPC 5 trabaja sobre el flujo del aire de admisión para transformar la potencia procedente del tren impulsor en potencia mecánica para el compresor impulsado HPC 5. El modo de frenado del motor es el resultado de una demanda del conductor del vehículo, que mediante un conmutador o mediante el pedal del freno, por ejemplo, envía una señal a los medios de control ECU que comprueban los datos operativos del motor y activan el modo de frenado. En particular, los medios de control ECU desactivan los primeros medios de punteo 3, 4 de acuerdo con lo anteriormente indicado.

El aparato motor 1 preferiblemente comprende también un sistema de Recirculación de los Gases de Escape (en adelante EGR) para reducir los óxidos de nitrógeno durante la combustión. La EGR es controlada por la diferencia entre la presión en la entrada 27 del motor 1, que es la presión medida en la proximidad del extremo de la línea de admisión 2, y la presión en la salida de la presión del motor, que es la presión medida en el colector 20 que está en el principio de la línea de escape 20 antes de aguas arriba de la HPT 6. Si la presión en la entrada 27 es mayor que la presión en la salida 20 (ciclo de alimentación negativo) es posible la recirculación de los gases de escape, y viceversa. Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención el flujo de la masa de la EGR es regulado desactivando/activando los primeros medios de punteo. En particular, desactivando los primeros medios de punteo 3, 4 el HPC 5 trabaja sobre el flujo de la masa de aire de admisión aumentando la presión en la entrada 27 y por lo tanto restaurando los estados para la recirculación de los gases de escape.

Resumiendo lo anterior, el aparato motor 1 de acuerdo con la invención es desplazado a una "configuración de dos etapas", desactivando los primeros medios de punteo 3, 4 (que es operando el compresor HPC 5) con el fin de:

- aumentar la presión de sobrealimentación y reducir la temperatura de los gases de escape y mejorar la respuesta transitoria a una velocidad del motor y una tasa de flujo de masa bajas, y
- desplazar la línea de funcionamiento del motor fuera del área de sobrepresión del compresor de baja presión (LPC 11) en el mapa de rendimiento cuando se requiera una relación de presión alta a una tasa baja del flujo de masa, y
- aumentar la potencia de frenado del motor.

En consecuencia, se consiguen varias ventajas por medio de la presente invención:

- las ventajas de los sistemas simples con turboalimentación de dos etapas y los sistemas dobles de tipo turbo-compound y los compresores de alta presión mecánicos están concentradas en un esquema del motor,
- mejorando el rendimiento transitorio del motor,
- aumentando la potencia de frenado del motor,

- mejorando la estrategia de la recuperación.

Con el fin de explicar mejor las ventajas alcanzables por la presente invención se definen aquí algunos parámetros útiles:

- 5 - la IMEP es la "presión media" dentro de un cilindro del motor durante un ciclo de trabajo, calculado a partir de un diagrama indicador. La "presión media" es la producida en la cámara de combustión durante el ciclo operativo. Es una expresión de la potencia sin fricción teórica conocida como la potencia en caballos de vapor indicada. Además de no tener en cuenta por completo la potencia perdida en la fricción, los caballos de vapor indicados no dan indicaciones sobre cuánta potencia real es entregada al cigüeñal para realizar un trabajo útil. No obstante, están relacionados con las presiones reales que se producen en el cilindro y pueden ser usados como una medida de estas presiones. La IMEP es igual a la "presión media efectiva de frenado" (en adelante BMEP) más la "presión media efectiva de la fricción (en adelante FMEP)".

- 10 - P_{salida} = presión después del motor
- $P_{entrada}$ = presión antes del motor
- P_{motor} = Potencia en el cigüeñal
- 15 - $P_{recuperación}$ = Potencia de recuperación

20 Cualquier proceso técnico de generación de potencia está acompañado de pérdidas de energía y de un aumento de la entropía. La disipación de energía se produce durante el transporte, conversión, generación, aplicación, y es inevitable. Además de la ley de la naturaleza del aumento de la entropía se pierde una gran cantidad de energía en forma de calor. Los "Sistemas de Recuperación de Calor Residual" reciclan una parte de algunas pérdidas y de este modo mejoran la eficiencia en los ciclos termodinámicos.

- EPGE es el "Intercambio de Energía Potencial del Gas", es la energía intercambiada. Si el trabajo del ciclo de alimentación es positivo el motor no realiza trabajo alguno para alimentar y descargar el cilindro con el fluido de trabajo. Así, si el trabajo del ciclo de alimentación es positivo la eficiencia del motor es aumentada (EPGE +).

25 Si el trabajo del ciclo de alimentación es negativo el motor necesita gastar algún trabajo para el intercambio de gas (EPGE -), por lo tanto, la eficiencia disminuye.

- PFRC, es Recuperación de la Fracción de Potencia, es la energía. Los sistemas con recuperación del calor residual pueden reciclar una parte de algunas pérdidas y de este modo mejorar la eficiencia en los ciclos termodinámicos. PFRC es el factor en porcentaje de la potencia del motor y la potencia de recuperación (de los gases de escape al cigüeñal).

- 30 - POFS = Potencial de Ahorro de Combustible (relación sin dimensiones); este parámetro puede ser descrito también por medio de las siguientes ecuaciones:

$$POFS = EPEG + PFRC$$

$$POFS = (IMEP/P_{salida} - P_{entrada}) + (P_{motor}/P_{recuperación})$$

35 Por lo tanto, los EPEG y PFRC influyen en la eficiencia del motor. Los sistemas con recuperación de gases de escape usualmente tienen una contrapresión (presión del gas en la salida) y un trabajo del ciclo de alimentación negativo.

El sistema de turboalimentación de dos etapas normal no puede recuperar energía pero podría alcanzar un trabajo positivo del ciclo de alimentación. Los efectos negativos del EPEG pueden ser compensados aumentando el PFRC.

40 Las Figuras 4, 5 y 6 muestran una comparación de varias disposiciones de sobrealimentación aplicados al mismo motor de combustión (Cursor™) provisto de:

- una geometría de turbina variable [VTG] (referida con rombos vacíos);
- un sobrealimentador de dos etapas [2Etapas] (referido con círculos vacíos);
- un primer turbo-compound [TCD] con turboalimentación de una única etapa (referido con trazos planos);
- 45 - un segundo turbo-compound [TC2], a saber un turboalimentador de dos etapas de acuerdo con el esquema descrito en la patente EP2042705 (referido con triángulos vacíos);
- la realización de la presente invención (ITC) (referida con rectángulos vacíos).

En particular, los diagramas en las figuras 4-6 son trazados con el fin de mostrar comparaciones respectivamente de dichas cantidades POFS, EPEG, PFRC.

Desde 800 – 1.500 rpm el motor del aparato de acuerdo con la presente invención funciona como un sistema de turbo-compound de dos etapas (los HPC y LPT están conectados al cigüeñal). A partir de 1.500 – 2.200 rpm el HPC es desconectado por los primeros medios de puenteo, en tanto que la LPT 7 está todavía conectada.

5 La Figura 4 muestra que la disposición de la presente invención da una sorprendente reducción en ahorro de combustible a partir de aproximadamente 1.500 rpm del cigüeñal del motor con respecto a las disposiciones conocidas. En línea con este resultado el diagrama de la Figura 6 muestra también un PFRC mayor a partir de 1.500 rpm. Y la Figura 5 muestra un EPEG inferior que arranca a partir de aproximadamente 1.500 rpm del cigüeñal del motor.

10 Parece que el POFC total es inferior con respecto a la disposición del esquema del TCD, no obstante se aumenta la densidad de potencia del esquema de acuerdo con la presente invención: 34 kW/l TCD frente a 38 kW/l iTC.

Una comparación correcta sería realizada entre el esquema de la presente invención (iTC) y el TC2 de acuerdo con la patente EP2042705, en donde ambos sistemas tienen la misma densidad de potencia. Por lo tanto, el POFC es claramente mejorado.

15 De acuerdo con la presente invención, el modo de funcionamiento libre de dos etapas, es decir HPC y LPT desactivados, puede ser usado para ganar más trabajo positivo del ciclo de alimentación en áreas operativas por debajo del 50% de la potencia nominal en el mapa. Este estado de funcionamiento no se muestra en las Figuras 2-5.

El punto de conmutación del HPC y la LPT no está fijado y depende de las propiedades del motor, del objetivo de potencia, de las propiedades de las turbinas, etc...

20 Por otra parte, se consigue un mejor rendimiento transitorio con respecto al esquema descrito en la patente EP2042705 y también con respecto al esquema descrito en la patente DE102005003714, debido al menor volumen de aire en el lado de alta presión del diseño de alta presión. Esto provoca también unos menores niveles de humo en modos de operación transitorios.

Por otra parte, con respecto a un turbo-compound normal de una única etapa, la presente invención muestra:

- unas menores emisiones de humo y una temperatura de trabajo inferior a una velocidad baja del motor,
- 25 – la densidad de potencia es fuertemente aumentada especialmente a una velocidad baja del motor.

30 Ha de tenerse en cuenta que en el estado de modo de frenado, el aparato motor 1 de acuerdo con la invención genera un par de frenado a velocidades del motor inferiores, debido a la turbina de alta presión más pequeña, es decir una sobrealimentación mayor, en comparación con el esquema descrito en las patentes EP2042705 y DE102005003714. Ambas realizaciones permiten reducir la demanda de potencia del sobrealimentador acoplado al motor a velocidades altas del motor, cuando se consigue el Lambda objetivo. Debido a esto se reduce fuertemente el consumo de combustible.

No se describirán detalles de puesta en práctica adicionales, ya que el experto en la técnica es capaz de realizar la invención partiendo de las enseñanzas de la anterior descripción.

REIVINDICACIONES

1. Método de control de un aparato motor de tipo turbo-compound, comprendiendo dicho aparato:
- 5 – un motor de combustión interna (1) que tiene una línea de admisión de aire (2) y una línea de escape de gases (20);
- un compresor de baja presión (11) y un compresor de alta presión (5) dispuestos en dicha línea de admisión de aire de acuerdo con la dirección de flujo del aire;
- una turbina de alta presión (6) y una turbina de baja presión (7) dispuestas en dicha línea de escape de acuerdo con las direcciones del flujo de los gases,
- 10 en donde la turbina de alta presión (6) está conectada con un eje a dicho compresor de baja presión (11), y dicha turbina de baja presión (7) está conectada al compresor de alta presión (5) y en donde dicha turbina de baja presión (11) y dicho compresor de alta presión (5) están conectados al cigüeñal del motor,
- unos primeros medios de puenteo (3, 4) de dicho compresor de alta presión (5),
- unos primeros medios de detección para medir una temperatura de los gases de escape;
- 15 – unos segundos medios de detección para detectar el valor Lambda;
- unos medios para medir la presión aguas abajo y aguas arriba de dicho compresor de baja presión;
- unos medios de frenado del motor;
- un sensor de la velocidad de revolución del motor;
- 20 en donde dicho método de control comprende el paso de desactivar dichos primeros medios de puenteo cuando ocurre al menos uno de los siguientes estados:
- a) una temperatura de escape supera un valor predefinido,
- b) dicho valor Lambda está por debajo de un valor predefinido,
- c) dicha relación de presión en la línea de admisión (2) supera al menos un valor de la sobrepresión de dicho sobrealimentador de baja presión (11),
- 25 d) los medios de frenado del motor están activados,
- e) dicha velocidad del motor está por debajo de un valor predefinido.
2. Un método de control de acuerdo con la reivindicación 1, en donde si dicho aparato motor comprende un sistema de recirculación de los gases de escape (EGR), el método comprende también los pasos de desactivación de dichos medios de puenteo si la presión en la entrada (27) es menor que la presión en la salida (20) de dicho motor.
- 30 3. Un método de control de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicha temperatura de escape se detecta en la línea de escape (20) antes de dicha turbina de alta presión (6).
4. Un método de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde dicho estado b) se produce cuando dicho valor Lambda es menor de aproximadamente 1,4, comprendiendo dicho método el paso de activar dichos primeros medio de puenteo si el valor Lambda supera aproximadamente 1,8.
- 35 5. Un método de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde si el aparato motor comprende unos medios de puenteo (25, 26) de dicha turbina de baja presión (7), cuando se produce dicho estado e), entonces se activan dichos medios de puenteo (25, 26) de dicha turbina de baja presión (8).
6. Un aparato motor de tipo turbo-compound que comprende:
- 40 – un motor de combustión interna (1) que tiene una línea de admisión de aire (2) y una línea de escape de gases (20),
- un compresor de baja presión (11) y un compresor de alta presión (5) dispuestos en dicha línea de admisión de aire de acuerdo con la dirección de flujo del aire,
- una turbina de alta presión (6) y una turbina de baja presión (7) dispuestas en dicha línea de escape de acuerdo con las direcciones de flujo de los gases,
- 45

caracterizado por unos primeros medios de puenteo (21, 23) para puentear dicho compresor de alta presión (5), en donde dicha turbina de alta presión (6) está conectada con un eje a dicho compresor de baja presión (11) y en donde dicho compresor de alta presión (5) es operado por dicha turbina de baja presión (7) y/o por dicho motor, siendo desactivados dichos medios de puenteo (3, 4) cuando se produce al menos uno de los siguientes estados:

- 5 a) una temperatura de escape supera un valor predefinido,
 - b) dicho valor Lambda está fuera de dicho intervalo predefinido;
 - c) dicha relación de presión en la línea de admisión (2) supera al menos un valor de sobrepresión de dicho sobrealimentador de baja presión (11),
 - d) los medios de frenado del motor están activados,
 - 10 e) dicha velocidad del motor es inferior a un valor predefinido.
7. Un aparato motor de acuerdo con la reivindicación 6, en donde dicho aparato comprende además un sistema de recirculación de los gases de escape (EGR), siendo desactivados dichos primeros medios de puenteo si la presión en la entrada (27) de dicho motor es menor que la presión en la salida (20).
8. Un aparato motor de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, en donde dicho aparato comprende unos medios de control que controlan dichos primeros medios de puenteo (3, 4).
- 15 9. Un aparato motor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6-8, en donde dicho aparato comprende una unidad de acoplamiento (10) por medio de la cual dicha turbina de baja presión (7) está conectada a dicho compresor de alta presión (5), comprendiendo dicho elemento de acoplamiento (10) un embrague hidráulico que conecta/desconecta dicha turbina de baja presión (7) y dicho compresor de alta presión (5) a/de dicho motor.
- 20 10. Un aparato motor de acuerdo con la reivindicación 9, en donde dicho aparato comprende unos segundos medios de puenteo para puentear (21, 23) dicha turbina de alta presión (6), siendo operados dichos segundos medios de puenteo (21, 23) cuando dicho embrague hidráulico desconecta dicho motor de la turbina de baja presión (7) y/o de dicho compresor de alta presión (5).
- 25 11. Un aparato motor de acuerdo con la reivindicación 10, en donde dicho aparato comprende además unos terceros medios de puenteo (25, 26) para puentear dicha turbina de baja presión (7), siendo operados dichos terceros medios de puenteo cuando dichos medios de frenado están activados.
12. Un programa de ordenador que comprende unos medios de código de programa de ordenador adaptados para realizar todos los pasos de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.
- 30 13. Un medio que puede ser leído por un ordenador que tiene un programa grabado en él, comprendiendo dicho medio que puede ser leído por un ordenador unos medios de código de programa de ordenador adaptados para realizar todos los pasos de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, cuando dicho programa es ejecutado en un ordenador.

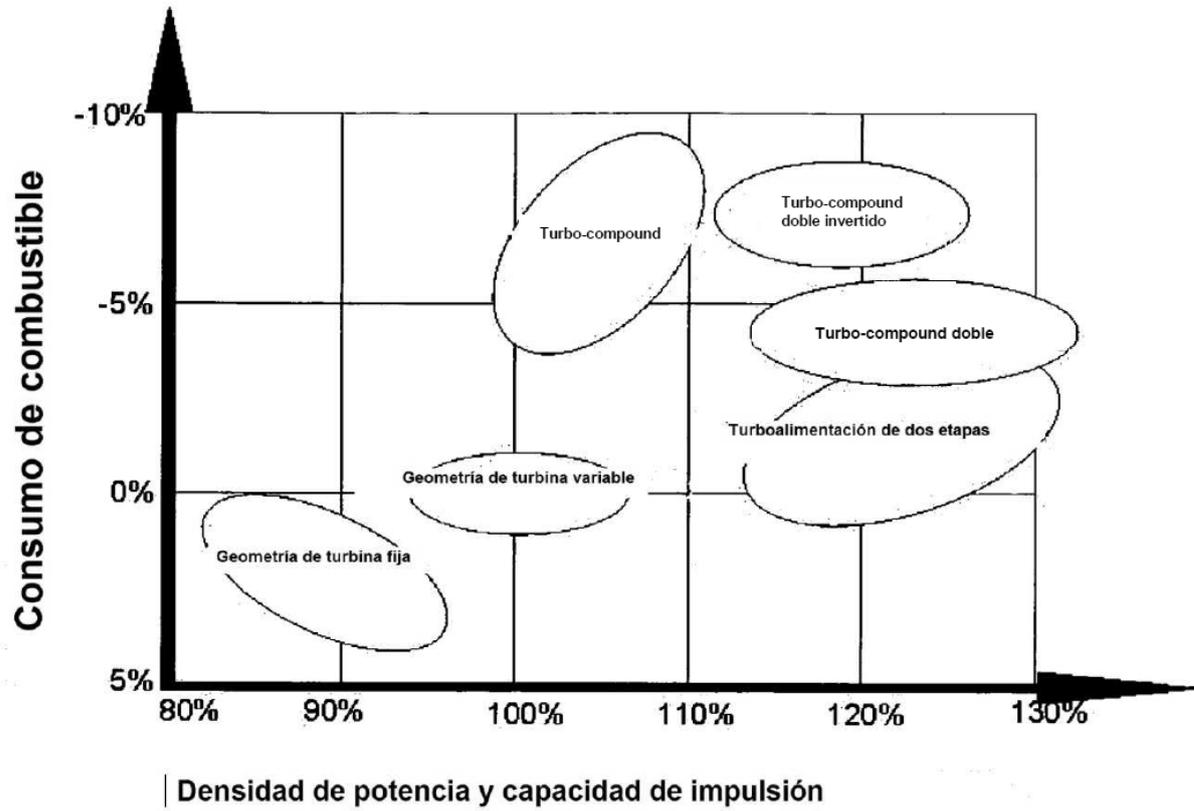


Fig. 2

TC2 = Turbo-compound doble
 2Etapas = Turboalimentación de dos etapas
 VTG = Geometría de turbina variable
 TCD = Turbo-compound
 iTC = Turbo-compound doble invertido (de acuerdo con la presente invención)

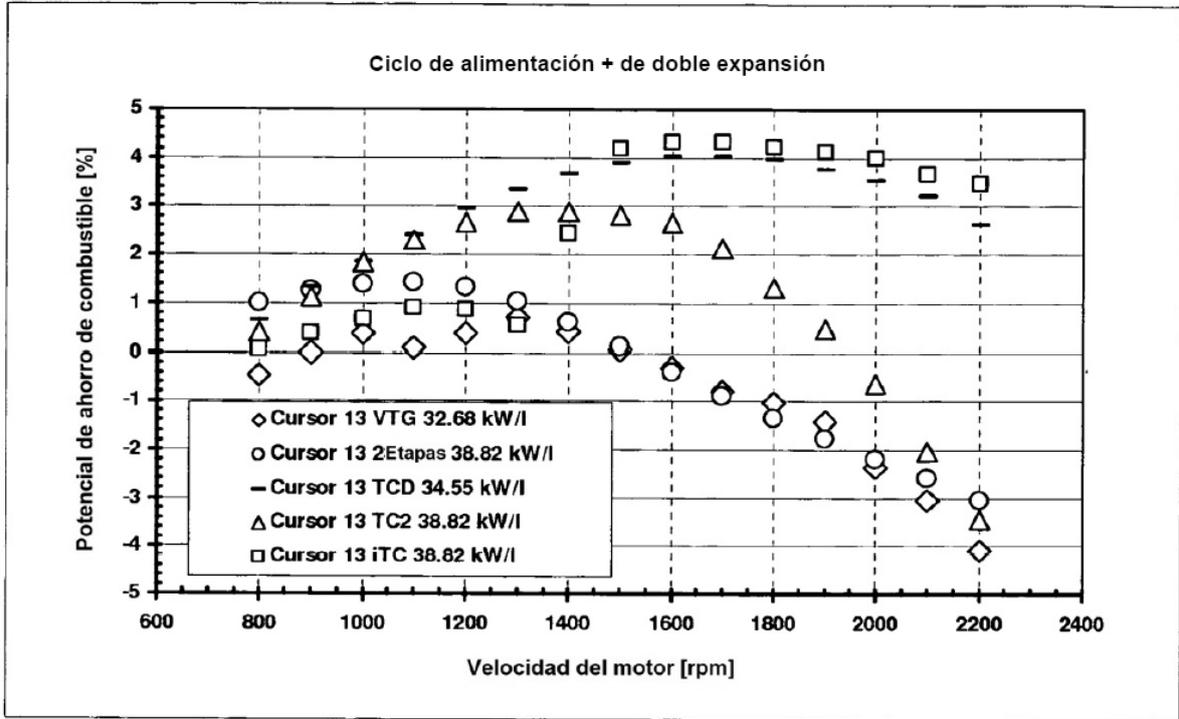


Fig. 3

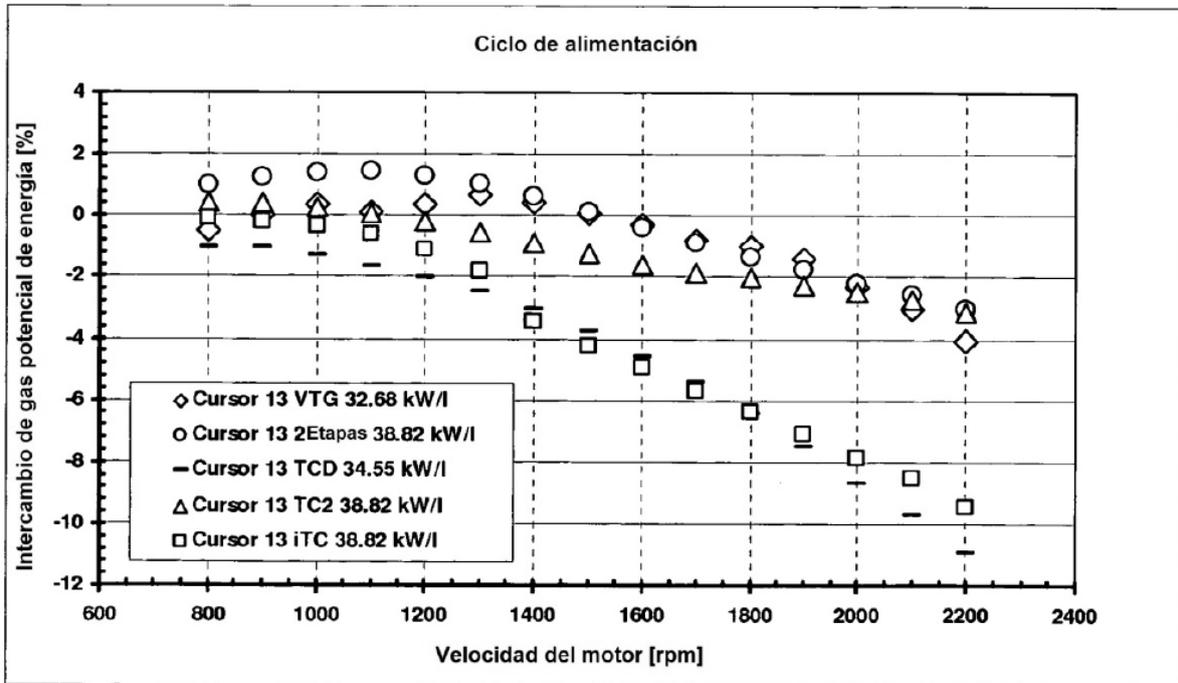


Fig. 4

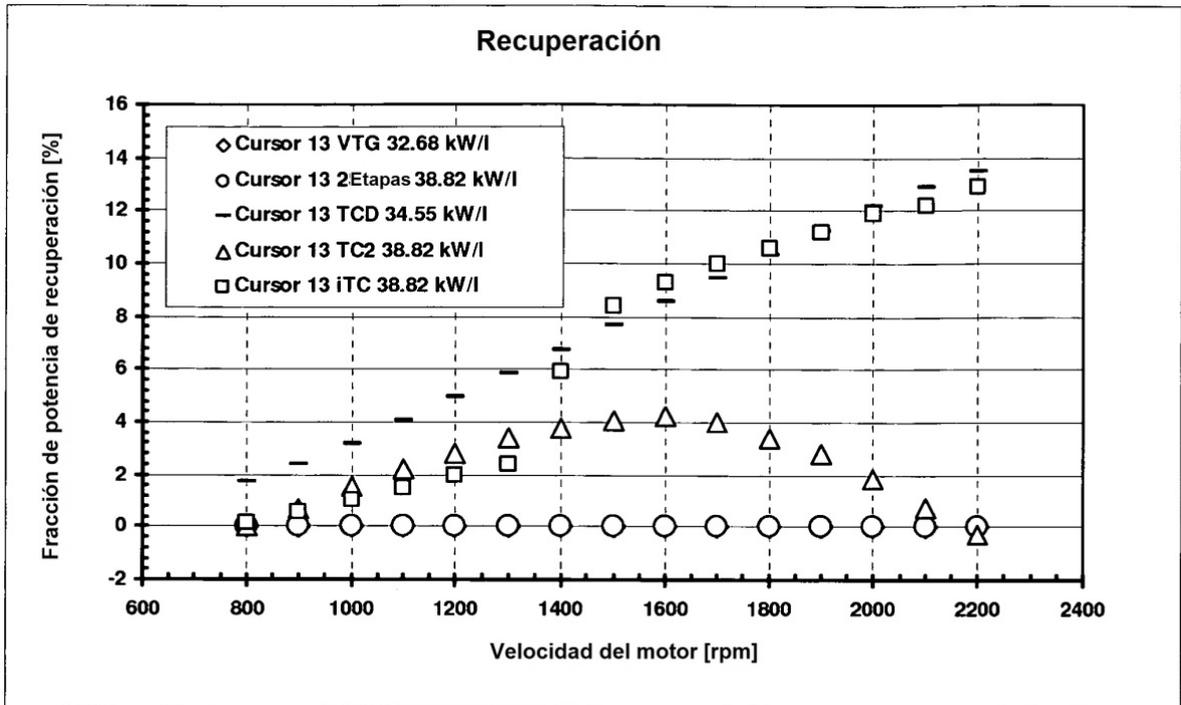


Fig. 5