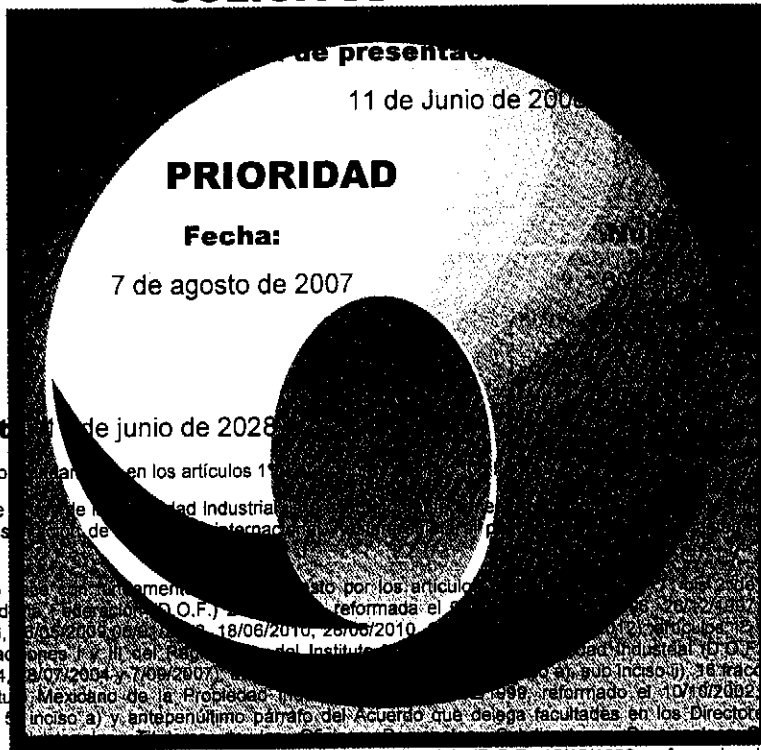


**TÍTULO DE PATENTE NO. 306606**

**Titular(es):** SCUDERI GROUP LLC  
**Domicilio:** 1111 Elm Street, Suite 4, West Springfield, Massachusetts, 01089, E.U.A.  
**Denominación:** MOTOR DE CICLO DIVIDIDO ANTI-DETONACION Y METODO.  
**Clasificación:** Int.Cl.8: F02B19/00; F02B33/22; F02B5/00  
**Inventor(es):** FORD A. PHILLIPS

**SOLICITUD**

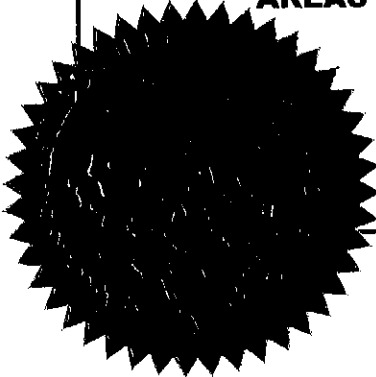


Departamentales y otros subalternos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. (D.O.F. 15/12/1999, reformado el 04/02/2000, 29/07/2004, 04/08/2004 y 13/09/2007).

Fecha de expedición: 10 de enero de 2013

**LA SUBDIRECTORA DIVISIONAL DE EXAMEN DE FONDO DE PATENTES,  
ÁREAS BIOTECNOLÓGICA, FARMACÉUTICA Y QUÍMICA**

**M. EN EMELIA HERNANDEZ PRIEGO**




306606  
10-I-2013

1

MX/a/2009/011432



MOTOR DE CICLO DIVIDIDO ANTI-DETONACIÓN Y METODO Instituto

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

La presente invención se refiere a motor  
combustión interna. Más específicamente, la presente  
5 invención se refiere a un motor de ciclo dividido  
turbocargado que tiene un par de pistones en los cuales se  
utiliza un pistón para las carreras de admisión y compresión  
y el otro pistón se utiliza para las carreras de expansión (o  
potencia) y escape, con cada una de las cuatro carreras  
10 siendo completada en una revolución del cigüeñal.

Para propósitos de claridad, el término "motor  
convencional" como se utiliza en la presente solicitud se  
refiere a un motor de combustión interna donde las cuatro  
carreras del ciclo Otto bien conocido (es decir, las carreras  
15 de admisión, compresión, expansión y escape) se contienen en  
cada combinación de pistón/cilindro del motor. El término  
motor de ciclo dividido como se utiliza en la presente  
solicitud puede aún no haber recibido un significado fijo  
común conocido por aquellos de experiencia en la técnica de  
20 motores. Por consiguiente, para propósitos de claridad, la  
siguiente definición se ofrece para el término "motor de  
ciclo dividido" como puede aplicarse a motores descritos en  
la técnica anterior como se refiere en la presente solicitud.

Un motor de ciclo dividido como se refiere en la  
25 presente comprende:



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

Un cigüeñal que puede girar sobre un eje de cigüeñal;

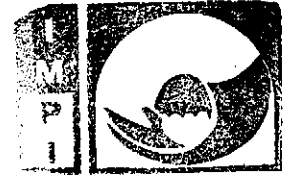
un pistón de compresión recibido en forma deslizable dentro de un cilindro de compresión y conectado operativamente al cigüeñal de modo que el pistón de compresión alterna a través de una carrera de admisión y una carrera de compresión durante una sola rotación del cigüeñal;

un pistón de expansión (potencia) recibido en forma deslizable dentro del cilindro de expansión conectado en forma operativa al cigüeñal de modo que el pistón de expansión alterna a través de una carrera de expansión y una carrera de escape durante una sola rotación del cigüeñal; y

un pasaje de cruce que interconecta los cilindros de expansión y compresión, el pasaje de cruce incluye una válvula de compresión de cruce (XovrC) y una válvula de expansión de cruce (XovrE) que definen una cámara de presión entre las mismas.

La Patente Norteamericana 6,543,225 concedida el 8 de abril de 2003 a Carmelo J. Scuderi contiene una discusión extensiva de motores de ciclo dividido y de equipo similar. Además, la patente describe detalles de una versión previa de un motor de la cual la presente invención comprende un desarrollo adicional.

Con referencia a la FIGURA 1, una modalidad ejemplar del concepto de motor de ciclo dividido de la

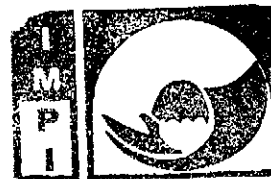


Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

técnica anterior se muestra generalmente por el número 1  
motor 10 de ciclo dividido reemplaza dos cilindros adyacentes  
de un motor de cuatro carreras convencional con una  
combinación de un cilindro 12 de compresión y un cilindro 14  
5 de expansión. Estos dos cilindros 12, 14 desempeñan sus  
funciones respectivas una vez por revolución del cigüeñal 16.  
La carga de admisión (combustible y aire) se extrae hacia el  
cilindro 12 de compresión a través de las válvulas 18 de  
admisión tipo barra típicas. El pistón 20 del cilindro de  
10 compresión presuriza la carga e impulsa la carga a través del  
pasaje 22 de cruce, el cual actúa como el pasaje de admisión  
para el cilindro 14 de expansión.

Una válvula 24 de compresión de cruce (XovrC) tipo  
retención en la entrada del pasaje de cruce se utiliza para  
15 evitar el flujo inverso del pasaje 22 de cruce. Una válvula  
26 de expansión de cruce (XovrE) en la salida del pasaje 22  
de cruce controla el flujo de la carga de admisión  
presurizada en el cilindro 14 de expansión. La bujía 28 se  
enciende poco después de que la carga de admisión al cilindro  
20 14 de expansión y la combustión resultante impulsa el pistón  
30 del cilindro de expansión hacia abajo. Los gases de escape  
se bombean fuera del cilindro de expansión a través de las  
válvulas 32 de escape de barra.

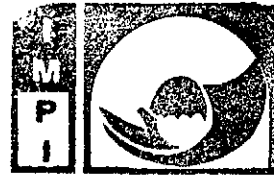
Con el concepto de motor de ciclo dividido, los  
25 parámetros geométricos del motor (es decir, el diámetro



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

interno, la carrera, la longitud de la biela, la relación de compresión, etc.) de los cilindros de compresión y expansión generalmente son independientes entre sí. Por ejemplo, las cigüeñas 34, 36 del cigüeñal para cada cilindro pueden tener diferentes radios y pueden desfasarse entre sí con el punto muerto superior (TDC) del pistón 30 del cilindro de expansión presentándose antes de TDC del pistón 20 del cilindro de compresión. Esta independencia permite al motor de ciclo dividido lograr potencialmente mayores niveles de eficiencia y mayores torsiones que los motores de cuatro carreras típicos.

En motores de ciclo dividido, la carrera de admisión sigue la carrera de compresión, mientras que en motores convencionales, la carrera de admisión sigue la carrera de escape. Por consiguiente, en un motor de ciclo dividido, una pequeña cantidad de aire de alta presión comprimido siempre se atrapa en el cilindro de compresión cuando del pistón de compresión alcanza su posición de punto muerto superior. Debido a que este aire comprimido debe re-expandirse durante la carrera de admisión antes de que una carga de aire nueva pueda extraerse, el cilindro de compresión de un motor de ciclo dividido debe dimensionarse para incluir el volumen del aire atrapado re-expandido además del volumen de una carga de aire nueva. Esto tiende a incrementar el tamaño y reducir la densidad de potencia de un

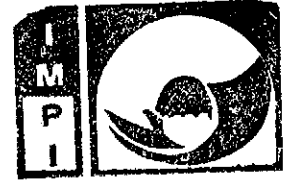


Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

motor de ciclo dividido con respecto a un motor convencional con la misma carga de admisión.

Ambos motores de ciclo dividido y motores convencionales pueden tener sus presiones de admisión sobrealimentadas, por ejemplo, a través de turbocarga, supercarga o similares, para incrementar la densidad de potencia y disminuir el tamaño general del motor. Entre más grande sea la sobrealimentación (es decir, el incremento en la presión sobre una presión atmosférica absoluta) sobre un motor naturalmente aspirado, mayor será la densidad de potencia y menor el tamaño del motor.

Problemáticamente, la cantidad de sobrealimentación que puede proporcionarse a la carga de admisión de un motor a gasolina convencional o de ciclo dividido es limitado por el punto en el cual la mezcla de combustible/aire se obliga a entrar a la combustión prematura (es decir, detonación) por presiones excesivas y temperaturas desarrolladas dentro del motor durante la carrera de compresión. Se conoce bien que un motor de gasolina convencional con un turboalimentador de una sola fase, la presión de sobrealimentación se limita aproximadamente de 1.5 a 1.7 bares absolutos antes de que se presente la detonación. Mayores presiones de sobrealimentación se pueden obtener potencialmente, pero se requieren sistemas de sobrealimentación e inter-enfriamiento de varias fases costosos en motores convencionales de la



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

técnica anterior.

Por consiguiente, existe la necesidad de incrementar la resistencia a la detonación para motores generalmente y motores de ciclo dividido en particular. Más específicamente, existe una necesidad de incrementar la resistencia de detonación de los motores de ciclo dividido de modo que puedan tener una carga de admisión sobrealimentada a presiones de 1.7 bares absolutos o más.

La presente invención incluye un motor de ciclo dividido que tiene varias características que contribuyen a la prevención de detonación, o mayor resistencia a la detonación. Tres de esas características son:

1. Inyección de combustible muy tardía en los pasajes de cruce (Xovr), comparada con un motor convencional;
2. Mezclado rápido de aire-combustible auxiliado por el flujo sónico altamente turbulento a través de las válvulas que conectan el pasaje de Xovr al cilindro de expansión (válvulas de XovrE); y
3. Una pérdida de calor predeterminada a través de las paredes del pasaje de cruce debido al enfriamiento activo o pasivo del aire a alta temperatura en el pasaje de Xovr, que reduce la temperatura del aire de carga dentro del pasaje de Xovr mismo.

Un motor ejemplar de acuerdo con la invención incluye:



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

un cigüeñal que puede girar sobre un eje de  
cigüeñal del motor;

un pistón de compresión recibido en forma  
deslizable dentro de un cilindro de compresión y conectado en  
5 forma operativa al cigüeñal de modo que el pistón de  
compresión alterna a través de una carrera de admisión y una  
carrera de compresión durante una sola rotación del cigüeñal;

un pistón de expansión recibido en forma deslizable  
dentro de un cilindro de expansión y conectado en forma  
10 operativa al cigüeñal de modo que el pistón de expansión  
alterna a través de una carrera de expansión y una carrera de  
escape durante una sola rotación del cigüeñal;

un pasaje de cruce que interconecta los cilindros  
de compresión y expansión, el pasaje de cruce incluye una  
15 válvula de compresión de cruce (XovrC) y una válvula de  
expansión de cruce (XovrE) que definen una cámara de presión  
entre las mismas; y

un inyector de combustible dispuesto en la cámara  
de presión del pasaje de cruce;

20 donde la inyección de combustible desde el inyector  
de combustible en el pasaje de cruce se sincroniza para  
presentarse totalmente durante la carrera de compresión del  
pistón de compresión.

Modalidades adicionales de la invención pueden  
25 incluir:



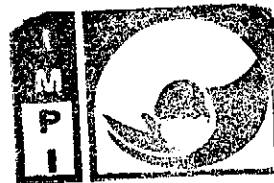


Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

Inicio de la inyección de combustible (SOI) pasaje de cruce se presenta en el margen de 25° a 0° de ángulo del cigüeñal (CA) antes del punto muerto superior (BTDC) del cilindro de expansión y la inyección de combustible finaliza (EOI) en el margen de 10° de CA BTDC a 10° después del punto muerto superior (ATDC) del pistón de expansión.

El pasaje de cruce se construye para conducir por lo menos 5.3 por ciento de la energía calorífica contenida en el gas comprimido retenido en el pasaje de cruce entre el cierre de la válvula de expansión de cruce durante una carga de expansión del pistón de expansión y la apertura de la válvula de compresión de cruce durante una siguiente carrera de compresión del pistón de compresión. Un pasaje no aislado puede conducir por lo menos 13 por ciento de la energía calorífica. También puede enfriarse activamente para controlar la pérdida de calor.

Durante la operación a carga completa entre 1400 RPM y 4000 RPM del cigüeñal, la relación de presión a través de la válvula de expansión de cruce cerrado excede o es igual a la relación de presión crítica de flujo sónico, provocando el flujo sónico inicial del gas comprimido del pasaje de cruce al cilindro de expansión con la apertura de la válvula de expansión de cruce. Por lo menos una porción de combustible inyectado puede pasarse a través de la válvula de



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

expansión de cruce durante el flujo sónico inicial de gas hacia el cilindro de expansión.

Opcionalmente, por lo menos dos pasajes de cruce separados pueden conectarse a cada cilindro de expansión, con cada pasaje de cruce teniendo una válvula de compresión y expansión de cruce asociadas. Los pasajes de cruce se dimensionan para conducir una cantidad controlada de la energía calorífica contenida en el gas comprimido en los pasajes de cruce entre el cierre de las válvulas de expansión de cruce asociadas durante una carga de expansión del pistón de expansión y la apertura de las válvulas de compresión de cruce asociadas durante una siguiente carrera de compresión del pistón de compresión.

Éstas y otras características y ventajas de la invención se entenderán más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de la invención tomada junto con los dibujos anexos.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La FIGURA 1 es una vista en corte transversal de un motor de ciclo dividido de la técnica anterior;

la FIGURA 2 es una vista en corte transversal de una modalidad ejemplar de un motor de ciclo dividido de línea base de acuerdo con la presente invención;

la FIGURA 3 es una vista superior en corte transversal del motor de ciclo dividido de línea base tomado



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

a través de las líneas 3-3 de la FIGURA 2 con inyectores de combustible superpuestos;

la FIGURA 4 es una gráfica de la fracción de detonación prevista contra el ángulo del cigüeñal para pasajes de cruce de hierro fundido no aislados (lunbreras) de varios motores de ciclo dividido;

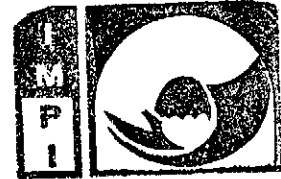
la FIGURA 5 es una gráfica de las presiones del cilindro y pasaje de cruce para pasajes de cruce de hierro fundido no aislados del motor de ciclo dividido de línea base;

la FIGURA 6 es una gráfica del flujo de válvula de XovrE en el número de Mach contra el ángulo del cigüeñal con pasajes de cruce de hierro fundido no aislados en 4000 rpm del motor de ciclo dividido de línea base;

la FIGURA 7 es una gráfica del flujo de válvula de XovrE en el número de Mach contra el ángulo del cigüeñal con pasajes de cruce de hierro fundido no aislados en 1400 rpm del motor de ciclo dividido de línea base;

la FIGURA 8 es una gráfica de las presiones del cilindro y pasaje de cruce para pasajes de cruce con pares de cerámica del motor de ciclo dividido de línea base;

la FIGURA 9 es una gráfica de la tracción de detonación prevista contra el ángulo del cigüeñal para pasajes de cruce con pares de cerámica de varios motores de ciclo dividido;



la FIGURA 10 es una gráfica de las presiones de cilindro y pasaje de cruce para pasajes de cruce con el acero inoxidable del motor de ciclo dividido de línea base;

la FIGURA 11 es una gráfica de la fracción de detonación prevista contra el ángulo del cigüeñal de los pasajes de cruce con manguito de acero inoxidable de varios motores de ciclo dividido; y

la FIGURA 12 es un diagrama esquemático de cuatro camisas de enfriamiento activo controladas en forma separada para el motor de ciclo dividido de línea base.

#### GLOSARIO

El siguiente glosario de acrónimos y definiciones de términos utilizados en la presente se proporciona para referencia:

Relación de Aire/combustible: La proporción de aire con el combustible en la carga de admisión.

Punto Muerto Inferior (BDC): La posición más alejada del pistón de la culata de cilindro, que resulta en el volumen de cilindro más grande del ciclo.

Ángulo del Cigüeñal (CA): El ángulo de rotación del cigüeñal.

Relación de Presión Crítica: La relación de presiones que provoca que el flujo a través de un orificio logre la velocidad sónica, es decir, Mach 1. Puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación:



$$\frac{p_o}{p_c} = \left(\frac{\gamma + 1}{2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

Donde:

$P_c$  = presión crítica (en el cuello)

5  $P_o$  = presión corriente arriba

$\gamma$  = relación de calor específica

Para aire seco a temperatura ambiente  $\gamma = 1.4$ , de modo que la relación de presión crítica es de 1.893.

Relación de Desplazamiento del Cilindro de Compresión/Expansión: La relación del desplazamiento del cilindro de compresión con el cilindro de expansión.

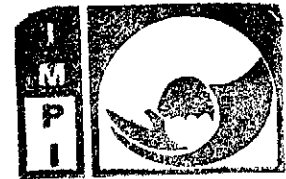
Relación de Compresión: La relación del volumen de cilindro en BDC con aquella del TDC.

15 Desplazamiento del Cilindro: El volumen que el pistón se desplaza de BDC a TDC.

Carga Plena de Motor (100%): La torsión máxima que un motor puede producir en una velocidad dada.

20 Detonación: La tendencia de una mezcla de combustible/aire para encenderse a sí misma durante la compresión.

Fracción de Detonación: Un parámetro previsto que proporciona una indicación relativa de la tendencia de una mezcla particular de combustible/aire para alcanzar la auto-ignición durante la compresión. La auto-ignición normalmente es indica por una fracción de valor de detonación de 1



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

mientras ninguna tendencia para la auto-ignición normalmente es indicada por una fracción de detonación de ejemplo, una fracción de detonación de 0.8 indica que las pre-reacciones químicas a la auto-ignición han alcanzado el 80% del valor requerido para generar la auto-ignición.

Octano (ON): Una clasificación empírica relativa de la resistencia del combustible a la auto-ignición durante una carrera de compresión en un motor de combustión interna. El número de Octano (ON) se mide en una escala de 0-120, con 100 octanos siendo un combustible (iso-octano) con alta resistencia a la auto-ignición, mientras que n-heptano tiene una alta tendencia a detonación durante la compresión y se asigna un número de octano cero (0).

Densidad de Potencia: El desplazamiento de la potencia de freno/motor, normalmente expresada como kilowatts/litro o caballos de fuerza/litro.

Relación Estequiométrica: La relación de masa químicamente correcta de aire con combustible para asegurar que todo el combustible se quemara (oxidice) y todo el oxígeno se utilice para ese quemado.

Punto Muerto Superior (TDC): La posición más cercana a la culata de cilindro que el pistón alcanza a través del ciclo, proporcionando el volumen de cilindro más bajo.

Con referencia ahora a las FIGURAS 2 y 3 de los



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

dibujos en detalle, el número 50 generalmente indica una modalidad ejemplar de un motor de ciclo dividido que tiene características de resistencia a detonación de acuerdo con la presente invención. El motor 50 incluye un cigüeñal 52 que puede girar sobre un eje 54 de cigüeñal en dirección de las manecillas del reloj como se muestra en el dibujo. El cigüeñal 52 incluye cigüeñas 56, 58 de cigüeñal delantera y trasera angularmente desplazadas adyacentes, conectadas a las bielas 60, 62, respectivamente.

10 El motor 50 además incluye un bloque 64 de cilindro que define un par de cilindros adyacentes, en particular un cilindro 66 de compresión y un cilindro 68 de expansión cerrados por una culata 70 de cilindro en un extremo de los cilindros opuesto al cigüeñal 52.

15 Un pistón 72 de compresión se recibe en el cilindro 66 de compresión y se conecta a la biela 62 para reciprocidad del pistón entre las posiciones del punto muerto superior (TDC) y el punto muerto inferior (BDC). Un pistón 74 de expansión se recibe en el cilindro 68 de expansión y se conecta a la biela 60 para una reciprocidad similar de TDC/BDC.

20 En esta modalidad, el pistón 74 de expansión lleva al pistón 72 de compresión por 20 grados de ángulo del cigüeñal. En otras palabras, el pistón 72 de compresión alcanza 20 grados de su posición de TDC de rotación del



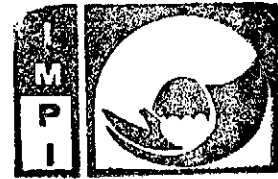
Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

cigüeñal después que el pistón 74 de expansión alcanza su posición de TDC. Los diámetros de los cilindros y los pistones y las carreras de los pistones y sus desplazamientos no necesitan ser los mismos.

5           La culata 70 de cilindro proporciona la estructura para el flujo de gas lento, fuera y entre los cilindros 66, 68. En el orden del flujo de gas, la culata de cilindro incluye una lumbrera 76 de admisión a través de la cual el aire de admisión se extrae hacia el cilindro 66 de  
10           compresión, un par de pasajes 78 y 79 (o lumbreras) de cruce (Xovr) separados a través de los cuales el aire comprimido se transfiere desde el cilindro 66 de compresión hasta el cilindro 68 de expansión, y una lumbrera 80 de escape a través de la cual los gases consumidos se descargan del  
15           cilindro de expansión.

          El flujo de gas hacia el cilindro 66 de compresión es controlado por una válvula 82 de admisión tipo barra que se abre hacia dentro. El flujo de gas hacia dentro y hacia fuera de cada pasaje 78 y 79 de cruce es controlado por un  
20           par de válvulas de barra que se abren hacia fuera, es decir, válvulas 86 de compresión de cruce (XovrC) en los extremos de entrada de los pasajes 78, 79 de Xovr y las válvulas 88 de expansión de cruce (XovrE) en los extremos de salidas de los pasajes 78, 79 de cruce. El flujo de gas de escape fuera de  
25           la lumbrera 80 de escape es controlado por una válvula 94 de





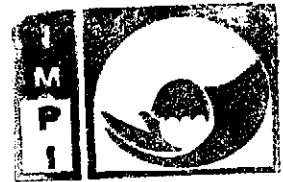
Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

escape tipo barra que se abre hacia dentro. Esas válvulas 86, 88 y 94 pueden accionarse en cualquier forma adecuada tal como por levas y mecánicamente impulsadas, tecnología de accionamiento de válvula variable o similares.

5 Cada pasaje 78, 79 de cruce tiene por lo menos un inyector 96 de combustible de alta presión dispuesto en el mismo. Los inyectores 96 de combustible son operativos para inyectar combustible en una carga de aire comprimido dentro de los pasajes 78, 79 de cruce totalmente durante la carrera  
10 de compresión.

El motor 50 también incluye una o más bujías 98 u otros dispositivos de ignición localizados en lugares apropiados en el extremo del cilindro de expansión donde una carga mezclada de combustible y aire puede encenderse y  
15 quemarse durante la carrera de expansión.

Adicionalmente, el motor 50 se proporciona en forma deseable con un dispositivo de sobrealimentación, tal como un turboalimentador 100, capaz de resistir las presiones de carga de admisión de cilindro en elevación hasta y más allá  
20 de 1.7 bares, para poder tomar ventaja completa de las características de resistencia a la detonación del motor como se discute en mayor detalle en la presente. El turboalimentador 100 incluye una turbina 102 de escape que impulsa un compresor 104 rotativo. La turbina tiene una  
25 entrada 106 de gas de escape conectada para recibir el gas de



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

escape presurizado de la lumbrera 80 de escape del motor 50.  
La turbina 102 impulsa un compresor 104, el cual extrae el  
aire ambiente a través de una entrada 108 de aire y descarga  
el aire presurizado a través de una salida 110 de aire  
5 comprimido. El aire comprimido pasa a través de un enfriador  
112 de una sola fase e ingresa a la lumbrera 76 de admisión  
de aire en una presión absoluta de por lo menos 1.7 bares a  
carga plena.

La detonación en un motor es una función de la  
10 cantidad de tiempo en que el combustible se expone a las  
temperaturas excesivas antes de que se presente la ignición.  
Por lo tanto, características que reducen la temperatura o  
tiempo en que el combustible se expone dentro de un motor  
incrementará la resistencia del motor a la detonación.

15 Tres características de la presente invención  
ejemplificadas en el motor 50 de ciclo dividido contribuyen a  
la prevención de detonación o mayor resistencia a la  
detonación:

20 1. Inyección de combustible muy tardía en los  
pasajes 78 y 79 de cruce (Xovr), comparada con un motor  
convencional.

En el motor 50 de ciclo dividido, la inyección de  
combustible desde los inyectores 96 se presenta después de la  
carrera de admisión de aire y totalmente durante la carrera  
25 de compresión. En contraste, en un motor convencional con



inyección de combustible por lumbrera, la inyección de combustible se presenta antes y durante la admisión de aire y antes de la carrera de compresión.

También, en un motor convencional con inyección directa de combustible en el cilindro, la inyección de combustible se presenta normalmente por lo menos parcialmente durante la carrera de admisión, y puede continuar hacia el inicio de la carrera de compresión.

2. Mezcla de aire-combustible auxiliada por flujo altamente turbulento a través de las válvulas que conectan el pasaje de Xovr al cilindro de expansión (válvulas 88 de XovrE).

Debido a la relación de presión inicial elevada a través de las válvulas 88 de XovrE, el flujo inicial cuando las válvulas 88 se abren es a velocidad sónica. El flujo altamente turbulento resultante es un mayor auxiliar para la mezcla de aire-combustible y de este modo permite una inyección de combustible muy tardía comparada con un motor convencional, lo cual tiene velocidades de aire relativamente bajas durante las carreras de admisión y compresión comparadas con el motor 50 de ciclo dividido. Esto resulta en mucho menos tiempo para que las reacciones de combustible/aire se presenten, que puede resultar en detonación.

3. La pérdida de calor a través de las paredes del

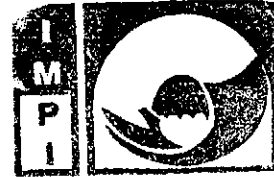


pasaje de Xovr de aire a alta temperatura en los pasaje  
78 de Xovr, que reducen la temperatura de aire/car

Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

El aire comprimido en los pasajes 78 y 79 de cruce  
(Xovr) el motor 50 de ciclo dividido pierde energía por la  
5 transferencia calorífica a las superficies de la pared del  
pasaje, ya que la compresión eleva la temperatura de la  
cavidad de aire sobre las temperaturas de la pared del  
pasaje. Aunque esta pérdida de energía reduce la eficiencia,  
ayuda a evitar la auto-detonación del combustible  
10 ("detonación") en los pasajes 78 y 79 de Xovr y el cilindro  
68 de expansión antes de la ignición por chispa, ya que la  
pérdida calorífica reduce la temperatura de aire comprimido.

En un motor de gasolina convencional, el nivel de  
presión de aire incrementada producida por las relaciones de  
15 más alta compresión, la supercarga o sobrealimentación es  
limitada por la tendencia a producir detonación en las  
temperaturas de aire incrementadas. Esta tendencia puede  
reducirse al pasar el aire a través del inter-enfriador,  
después de la compresión por el supercargador o  
20 turboalimentador. Sin embargo, después de la compresión del  
cilindro, el aire aún está a una temperatura muy  
incrementada, y la inyección de combustible ya se ha  
presentado. Con el motor 50 de ciclo dividido, un inter-  
enfriador también puede utilizarse después de la supercarga o  
25 sobrealimentación, pero además, la característica única del



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

motor 50 de ciclo dividido es que el aire se enfría después  
nuevamente de la compresión del cilindro debido a la pérdida  
calorífica en los pasajes 78 y 79 de Xovr, y la inyección de  
combustible se presenta durante la porción posterior de esta  
5 compresión.

Para predecir en forma más precisa los efectos y  
optimizar las características de resistencia de detonación de  
la presente invención (por ejemplo, la inyección de  
combustible tardía, el enfriamiento del pasaje de gas y el  
10 flujo altamente turbulento), un estudio por computadora  
(simulación) se llevó a cabo. El estudio por computadora  
utilizó un modelo de línea base específico del motor 50 que  
tiene los parámetros de válvula y cilindro como se muestra en  
las tablas I y II siguientes:

15 **Tabla I: Parámetros del Cilindro del Motor 50 de Línea Base**

Parámetros	Unidades	Cilindro 66 de Compresión	Cilindro 68 de Expansión
Diámetro Interno del Cilindro	Milímetros	94.4	86.3
Carrera del Cilindro	Milímetros	87.0	120.0
Desplazamiento Total del Cilindro	Litros	0.609	0.702
Relación de Compresión Volumétrica	X:1	86	121

20

25



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

Tabla II: Parámetros de la Válvula del Motor 50 de Línea Base

Parámetro	Unidades	Válvula 82	Válvula	Válvula	Válvula
		de Admisión	86 de XovrC	88 de XovrE	94 de Escape
Diámetro de Asiento Interior	Milímetros	32.0	18.0	18.0	26.0
Elevación Máxima	Milímetros	9.73	2.60	2.43	9.28
Posición Angular de Apertura	Grados ATDC del Pistón de Expansión	62.0	-15.0	-5.0	155.0
Posición Angular de Cierre	Grados ATDC del Pistón de Expansión	212.0	20.5	25.0	-24.0

También, en el modelo por computadora, el pistón 74 de expansión del motor 50 de línea base se estableció para llevar el pistón 72 de compresión por veinte (20) grados de rotación del ángulo de cigüeñal. En otras palabras, el pistón 72 de compresión comenzó su carrera de compresión (es decir, alcanzó su posición BDC) en -160 grados de CA antes de TDC del pistón 74 de expansión y el pistón 72 de compresión finalizó su carrera de compresión (alcanzó su posición de TDC) en 20 grados de CA después de TDC del pistón 74 de expansión.

Los resultados del estudio por computadora se describen en la siguiente especificación y las FIGURAS 4-13 correspondientes. A menos que se especifique lo contrario,



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

todos los parámetros no referidos del motor 50 de línea base permanecen como se lista en las Tablas I y II. Todas las posiciones de ángulo de cigüeñal para cualquier parámetro se designan con respecto a la posición de TDC del pistón 74 de expansión como siendo 0 grados de CA de TDC.

La FIGURA 4 muestra la fracción de detonación prevista contra el ángulo de cigüeñal del estudio por computadora referido en lo anterior (líneas 120 y 122) para dos motores de ciclo dividido naturalmente aspirados que tienen pasajes de cruce de hierro fundido no aislados (lumbreras). Cuando la fracción de detonación alcanza 1, la detonación es probable.

Cada motor del estudio en la FIGURA 4 se llevó a cabo a 4000 RPM, a carga del motor 100%, en gasolina de 100 octanos (ON), y con una relación de aire a combustible ligeramente rica de 13.05/1 (es decir, 90% de la relación estequiométrica de 14.5/1). La línea 120 representa el motor 50 de línea base con una carga de compresión de 87 mm, y la línea 122 representa un motor de ciclo dividido el cual difiere del motor 50 de línea base sólo en que tiene una carga de compresión alargada de 120 mm y tiene un desplazamiento de cilindro de compresión proporcionalmente más grande.

Como se ilustra en la FIGURA 4, la fracción de detonación se construye a partir del inicio de la inyección



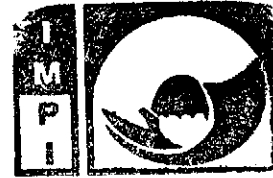
Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

de combustible (SOI), la cual se presenta en 15 grados antes de TDC del pistón 74 de expansión. Cuando la carga del cilindro de compresión y el desplazamiento se incrementa de 87 a 120 mm (líneas 120 y 122 respectivamente), la fracción de detonación final incrementa, pero permanece por debajo de 0.35 en el desplazamiento más alto (línea 122).

Nótese que en la FIGURA 4 los motores modelados representan las paredes del pasaje de Xovr de hierro fundido estándar no aisladas que tienen dobles pasajes 78 y 79 de cruce separados, donde cada pasaje de cruce tiene un diámetro promedio de aproximadamente 13.5 milímetros. Enfriar el aire comprimido en los pasajes 78 y 79 de gas es una característica importante para mantener la fracción de detonación sustancialmente por debajo de 1. El tipo de materiales utilizados para construir los pasajes 78 y 79, los números de pasajes para una carga dada de aire comprimido, cómo se aíslan los pasajes, y si se enfrían activamente, todos son factores implicados para remover el calor de los pasajes de gas y por lo tanto reducir la fracción de detonación.

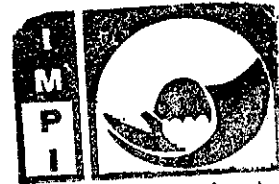
En los casos particulares ilustrados por las líneas 120 y 122 en la FIGURA 4, un par de pasajes 78 y 79 de cruce de hierro fundido no aislados que tienen válvulas de compresión 86 y expansión 88 de cruce asociadas se utilizaron para remover el calor. El par de pasajes 78 y 79 de cruce se





dimensionaron y construyeron para conducir una cantidad controlada de energía calorífica contenida de la Propiedad Industrial comprimido en los pasajes de cruce entre el cierre de las válvulas 88 de expansión de cruce asociadas durante una carrera de expansión del pistón 74 de expansión y la apertura de las válvulas 86 de compresión de cruce asociadas durante una siguiente carga de compresión del pistón 72 de compresión. Como se discutirá en mayor detalle en la presente, se prefiere que por lo menos 5.3 por ciento, y de mayor preferencia que por lo menos 13 por ciento de la energía calorífica contenida en el gas comprimido se dirija hacia fuera entre el cierre de las válvulas 88 de expansión de cruce y la apertura subsiguiente de las válvulas 86 de compresión de cruce. Alguien con experiencia en la técnica puede reconocer que otras combinaciones y configuraciones de pasajes de cruce también pueden utilizarse para remover una cantidad controlada equivalente de energía calorífica. Por ejemplo, más de dos pasajes de gas pueden utilizarse para incrementar el área superficial de la pared interna del pasaje vertical expuesta para una carga dada de aire comprimido, o un pasaje de gas puede enfriarse activamente.

En este estudio, el inicio de la inyección de combustible (SOI) para el motor 50 de línea base se está modelando después del inicio de la carrera de compresión y muy cerca de la apertura de la válvula 88 de XovrE. Un margen



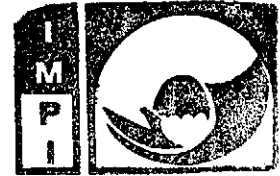
Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

preferible de SOI se encuentra entre 25 grados de CA a TDC a TDC.

También en este estudio, el final de la inyección de combustible (EOI) se modela antes del final de la carrera de compresión y antes del cierre de la válvula 88 de XovrE. Un margen preferible de EOI se encuentra entre -10 a +10 grados de CA después de CDC.

Sincronizar la inyección de combustible desde los inyectores 96 de combustible hacia los pasajes 78 y 79 de cruce para presentarse totalmente durante la carrera de compresión del pistón 72 de compresión, y dentro de los márgenes preferidos de SOI y EOI, resulta en una transferencia casi completa del combustible inyectado desde pasajes 78, 79 de Xovr en el cilindro 68 de expansión. Nótese que la sincronización de SOI para que se presente antes del inicio de la carrera de compresión puede resultar en una detonación prematura. Nótese también que la sincronización de EOI para que se presente después del final de la carrera de compresión puede resultar en una cantidad importante de combustible que se atrapa en los pasajes 78 y 79 de cruce y que no se transfiere hacia el cilindro 68 de expansión.

La presión de inyección de combustible debe ser necesariamente mayor que la presión del pasaje 78 y 79 de Xovr, con diferentes presiones de inyección utilizadas para obtener una duración óptima de inyección, dependiendo de la

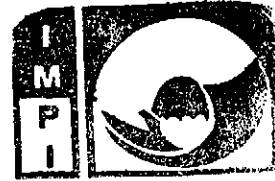


Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

velocidad del motor y el punto de operación de la carga y las diferentes capacidades del sistema de inyección de la

La FIGURA 5 muestra el pasaje 78 y 79 de Xovr previsto, las presiones del cilindro de compresión 66 y expansión 68 contra el ángulo de cigüeñal con una simulación de ciclo de un motor 50 de ciclo dividido de una línea base naturalmente aspirado en 4000 RPM, carga de motor al 100% (completa). Los tiempos se muestran para la válvula 86 de XovrC, válvulas 88 de XovrE, cilindro 66 de compresión, cilindro 68 de expansión, bujía 98 de ignición, margen SOI para inyectores 96, margen EOI para inyectores 96 y final de la carrera de compresión. La línea 124 representa la presión del cilindro 66 de compresión. La línea 126 representa la presión de salida de la válvula de XovrC, es decir, la presión tomada en un punto en los pasajes 78, 79 de cruce localizados a la derecha cerca de la cabeza de barra de la válvula 86 de XovrC. La línea 128 representa la presión de entrada de la válvula 88 de XovrE, es decir, la presión en un punto tomado en los pasajes 78, 79 de cruce localizados a la derecha cerca de la cabeza de barra de la válvula de XovrE. Finalmente, la línea 130 representa la presión del cilindro 68 de expansión.

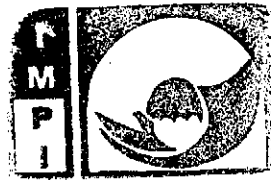
Para esta simulación de la FIGURA 5, la sincronización SOI se modeló como 20 grados BTDC, con la sincronización EOI en 1 grado de ATDC. Este EOI sólo es



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

aproximadamente 16 grados delante de la ignición por  
Nótese que en este margen, las presiones de pasaje  
(líneas 126 y 128) varían de aproximadamente 25-65 bares, de  
este modo la presión de inyección de combustible debe ser por  
encima de estas presiones. Nótese también que cuando se abre  
la válvula 88 de XovrE, la presión de entrada de la válvula  
de XovrE es significativamente mayor (40 bares) que la  
presión del cilindro 68 de expansión (5 bares) con una  
relación de presión suficientemente elevada a través de las  
válvulas 88 de XovrE para provocar el flujo sónico de la  
mezcla de combustible/aire a través de las áreas abiertas de  
la válvula de XovrE, lo cual incrementa la turbulencia y la  
mezcla de combustible-aire.

Las FIGURAS 6 y 7 muestran el número Mach del flujo  
aproximado a través de las válvulas 88 de XovrE desde los  
pasajes 78 y 79 de cruce hacia el cilindro 68 de expansión en  
4000rpm (línea 132 de la FIGURA 6) y 1400rpm (línea 134 de la  
FIGURA 7), respectivamente, cuando el motor 50 de línea base  
se ejecuta a carga plena de motor (100%). Cuando las válvulas  
de XovrE primero se abren, el flujo es sónico (Mach = 1.0)  
por aproximadamente 3-4 grados en ambas velocidades, luego  
cae aproximadamente a Mach 0.35 en 4000rpm y a Mach 0.15 en  
1400rpm, lo cual aún se considera que es un flujo turbulento  
de alta velocidad. El flujo turbulento de alta velocidad  
contribuye a la resistencia de detonación del motor 50 al



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

reducir la cantidad de tiempo en que una carga de combustible/aire se expone a altas temperaturas de compresión, puesto que la turbulencia proporciona una mezcla rápida de aire-combustible.

5 Al comparar las Figuras 5, 6 y 7, puede observarse que el margen preferido de SOI del motor 50 se encuentra entre -25 a 0 grados de CA después de TDC, mientras el flujo sónico inicial se presenta entre aproximadamente -5 a -2 grados de CA después de TDC. Esto significa que es posible  
10 que todo el evento de inyección de combustible se presente después de que el flujo de aire haya caído por debajo de la velocidad sónica. Sin embargo, es preferible que por lo menos una porción del combustible inyectado se haga pasar a través de la válvula 88 de expansión de cruce durante el flujo  
15 sónico inicial de gas comprimido para mezclar más completamente el combustible y el aire juntos.

Con referencia nuevamente a la FIGURA 5, nótese que después de que las válvulas 88 de XovrE se cierran en 25 grados ATDC, la presión promedio (líneas 126 y 128) en los  
20 pasajes 78, 79 de Xovr es de aproximadamente 47 bares. Sin embargo, esa presión promedio (líneas 126 y 128) en el volumen atrapado de los pasajes 78, 79 de Xovr disminuye a  
aproximadamente 39 bares para el momento en que las válvulas 86 de XovrC se abren en 15 grados BTDC. Esta pérdida de  
25 energía es debido a la transferencia calorífica del aire

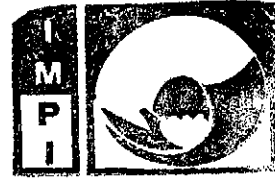


Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

atrapado en las paredes del pasaje de Xovr, y representa aproximadamente un 13% de pérdida de la energía consumida para comprimir el aire. Puesto que esta pérdida de energía es un contribuyente importante para los números bajos de detonación previstos en la FIGURA 4, es deseable construir los pasajes 78 y 79 de gas de modo que por lo menos el 13% de la energía en el volumen atrapado de aire en los pasajes 78 y 79 de gas se remueva entre el cierre de las válvulas 88 de XovrE y la apertura subsiguiente de las válvulas 86 de XovrC.

10 Con referencia a la FIGURA 8, para determinar los efectos de la pérdida calorífica, se llevaron a cabo simulaciones con las paredes del pasaje 78 y 79 de gas altamente aisladas, con una capa interior de cerámica y entrehierros alrededor de los pasajes. El motor 50 de línea base modelado en la FIGURA 8 es idéntico al motor modelado en la FIGURA 5, pero con las paredes del pasaje aisladas de cerámica. La línea 136 representa la presión del cilindro 66 de compresión. La línea 138 representa la presión de salida de la válvula 86 de XovrC, es decir, la presión tomada en un punto en los pasajes 78, 79 de cruce localizados a la derecha cerca de la cabeza de barra de la válvula 86 de XovrC. La línea 140 representa la presión de entrada de la válvula 88 de XovrE, es decir, la presión en un punto tomado en los pasajes 78, 79 de cruce localizados a la derecha cerca de la cabeza de barra de la válvula de XovrE. Finalmente, la línea

15  
20  
25



Instituto

Mexicano

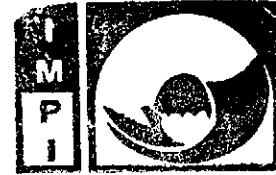
de la Propiedad

Industrial

142 representa la presión del cilindro 68 de expansión.

La FIGURA 8 muestra las presiones del pasaje de Xovr previstos (líneas 138 y 140), contra el ángulo del cigüeñal con muy poca pérdida de entre, cuando las válvulas 88 de XovrE se cierran en 25 grados ATDC hasta cuando las válvulas 86 de XovrC se abren subsecuentemente en 15 grados BTDC. Nótese que todas las presiones (por lo tanto temperaturas) en ambos cilindros 66 y 68 y los pasajes 78 y 79 de cruce del motor 50 de línea base modelado en la FIGURA 8 con los pasajes 78 y 79 de gas aislados cerámicos son mayores con respecto al motor 50 de línea base modelado en la FIGURA 5 con los pasajes 78 y 79 de cruce no aislados.

Con referencia a la FIGURA 9, las presiones y temperaturas incrementadas del pasaje de cruce, las simulaciones del estudio por computadora pronosticaron una fracción de detonación que alcanza en forma inaceptable 1.0 (y por lo tanto detonación) para las relaciones de desplazamiento más altas del cilindro de compresión/expansión. Por consiguiente, las simulaciones tuvieron que volverse a llevar a cabo con la relación de aire a combustible cambiada de 13.5/1 (90 por ciento de la relación estequiométrica) a más de 10.4/1 (70 por ciento de las relaciones estequiométricas), para poder promover el enfriamiento evaporativo y mantener la fracción prevista de detonación por debajo de 1.0. La FIGURA 9 muestra las



fracciones resultantes de detonación con el combustible 100 ON, donde la línea 144 representa el motor base con una carga de compresión de 87 mm, y la línea 50 de línea base representa un motor de ciclo dividido que difiere del motor 5 50 de línea base sólo porque tiene una carrera de compresión alargada de 120 mm y tiene un desplazamiento más grande en forma proporcional.

Nótese que las fracciones de detonación más altas se encuentran por encima de 0.9 (línea 146), lo cual puede no ser viable en la producción debido al margen insuficiente de 10 detonación para variaciones en condiciones operativas y temperaturas y presiones ambiente. Sin embargo, las fracciones de detonación con pasajes totalmente no aislados dejan mucho margen de detonación (véase FIGURA 4), incluso en 15 relaciones de desplazamiento altas de cilindro de compresión/expansión. De este modo una cantidad moderada de aislamiento, tal como un manguito de acero inoxidable y entrehierro circundante para secciones del pasaje, podrían proporcionar un incremento en eficiencias mientras aún 20 mantienen las fracciones de detonación sustancialmente por debajo de 1.0.

La FIGURA 10 es similar a las FIGURAS 5 y 8, pero con las paredes de los pasajes 78 y 79 de gas convertidas en un manguito de acero inoxidable dentro de las secciones 25 centrales de los pasajes, con un entrehierro de 5 mm entre





Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

el manguito y la culata 70 de cilindro del hierro fundido del motor 50 de línea base. Los extremos de los pasajes de gas, que incluyen pliegues para acomodar las válvulas 86 de XovrC y 88 de XovrE, se mantienen como hierro fundido aislado. La línea 148 representa la presión del cilindro 66 de compresión. La línea 150 representa la presión de salida de la válvula 86 de XovrC, es decir, la presión tomada en un punto en los pasajes 78, 79 de cruce localizados a la derecha cerca de la cabeza de barra de la válvula 86 de XovrC. La línea 152 represente la presión de entrada de la válvula 88 de XovrE, es decir, la presión en un punto tomado en los pasajes 78, 79 de cruce localizados a la derecha cerca de la cabeza de barra de la válvula de XovrE. Finalmente, la línea 154 representa la presión del cilindro 68 de expansión.

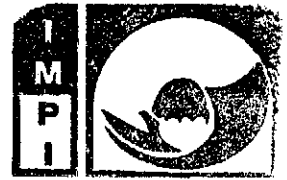
La FIGURA 10 muestra los pasajes 78 y 79 de Xovr previstos, las presiones del cilindro de compresión 66 y expansión 68 contra el ángulo de cigüeñal con cierta pérdida de válvula 88 de XovrE cerca de la apertura de la válvula 86 de XovrC, pero no tanto como con las paredes no aisladas (hierro fundido de la FIGURA 5). La presión del pasaje promedio cae de aproximadamente 47.5 bares en el cierre de la válvula 88 de XovrE a 45 bares en la apertura de la válvula 86 de XovrC, representando aproximadamente una pérdida 5.3% de energía consumida para comprimir el aire, cuando se compara con el 13% para los pasajes no aislados.



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

La FIGURA 11 muestra las fracciones de detonación previstas para dos motores de ciclo dividido donde los pasajes 78 y 79 de cruce se aíslan con los manguitos de acero inoxidable y los entrehierros. La línea 156 representa el motor 50 de línea base con una carrera de compresión de 87 mm, y la línea 158 representa un motor de ciclo dividido que difiere del motor 50 de línea base sólo en que tiene una carrera de compresión alargada de 120 mm. Ambos motores en esta simulación se ejecutan en combustible de 100 ON. Las fracciones de detonación son mucho más grandes que para los pasajes no aislados de la FIGURA 4, pero tienen un margen significativo por debajo de 1.0 comparado con los pasajes de pared de cerámica de la FIGURA 9.

Con referencia a la FIGURA 12, los resultados anteriores muestran que la fracción de detonación prevista del motor 50 de ciclo dividido es bastante sensible al grado de pérdida de energía en los pasajes 78 y 79 de Xovr. Esto eleva la posibilidad de controlar en forma dinámica esta pérdida de calor con cierta forma del sistema de enfriamiento 'activo', y por consiguiente influenciar la tendencia de detonación del motor bajo diferentes condiciones operativas. La FIGURA 12 muestra un diagrama esquemático de un sistema de enfriamiento ejemplar para el motor 50 de ciclo dividido, que muestra los circuitos de enfriamiento separados para diferentes partes del motor 50, incluyendo los pasajes 78 y



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

79 de Xovr.

Aunque la invención se ha descrito por referencia a modalidades específicas, debe entenderse que numerosos cambios pueden hacerse dentro del espíritu y alcance de los conceptos inventivos descritos. Por consiguiente, se pretende que la invención no se limite a las modalidades descritas, sino que tenga el alcance más amplio definido por el lenguaje de las siguientes reivindicaciones.



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

### REIVINDICACIONES

1. Un motor de ciclo dividido, caracterizado por que

comprende:

un cigüeñal que puede girar sobre un eje de  
5 cigüeñal del motor;

un pistón de compresión recibido en forma  
deslizable dentro de un cilindro de compresión y conectado en  
forma operativa al cigüeñal de modo que el pistón de  
compresión alterna a través de una carrera de admisión y una  
10 carrera de compresión durante una sola rotación del cigüeñal;

un pistón de expansión recibido en forma deslizable  
dentro de un cilindro de expansión y conectado en forma  
operativa al cigüeñal de modo que el pistón de expansión  
alterna a través de una carrera de expansión y una carrera de  
15 escape durante una sola rotación del cigüeñal;

un pasaje de cruce que interconecta los cilindros  
de compresión y expansión, el pasaje de cruce incluye una  
válvula de compresión de cruce (XovrC) y una válvula de  
expansión de cruce (XovrE) que definen una cámara de presión  
20 entre las mismas;

un inyector de combustible dispuesto en la cámara  
de presión del pasaje de cruce; y

un medio de control acoplado en forma operativa al  
inyector de combustible, el medio de control se configura  
25 para ejecutar la inyección de combustible totalmente durante



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

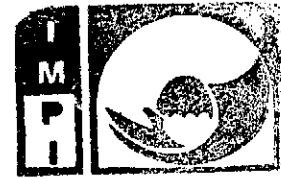
la carrera de compresión del pistón de compresión.

2. El motor de conformidad con la reivindicación 2, caracterizado porque el inicio de la inyección de combustible en el pasaje de cruce se presenta dentro del margen de 25 a 0 5 grados de ángulo de cigüeñal antes del punto muerto superior del pistón de expansión.

3. El motor de conformidad con la reivindicación 2, caracterizado porque el final de la inyección de combustible en el pasaje de cruce se presenta dentro del margen de 10 10 grados de ángulo de cigüeñal antes de 10 grados de ángulo de cigüeñal después del punto muerto superior del pistón de expansión.

4. El motor de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el final de la inyección de combustible 15 en el pasaje de cruce se presenta dentro del margen de 10 grados de ángulo de cigüeñal antes de 10 grados de ángulo de cigüeñal después del punto muerto superior del pistón de expansión.

5. El motor de conformidad con la reivindicación 1, 20 caracterizado porque el pasaje de cruce se construye para sacar por lo menos 5.3 por ciento de la energía calorífica contenida en el gas comprimido retenido en el pasaje de cruce entre el cierre de la válvula de expansión de cruce durante una carrera de expansión del pistón de expansión y la 25 apertura de la válvula de compresión de cruce durante una



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

siguiente carrera de compresión del pistón de compresión.

6. El motor de conformidad con la reivindicación

5 caracterizado porque el pasaje de cruce se construye para sacar por lo menos 13 por ciento de la energía calorífica contenida en el gas comprimido retenido en el pasaje de cruce entre el cierre de la válvula de expansión de cruce durante una carrera de expansión del pistón de expansión y la apertura de la válvula de compresión de cruce durante una siguiente carrera de compresión del pistón de compresión.

10 7. El motor de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el pasaje de cruce se enfría activamente para sacar una cantidad controlada de la energía calorífica contenida en el gas comprimido en el pasaje de cruce entre el cierre de la válvula de expansión de cruce durante una  
15 carrera de expansión del pistón de expansión y la apertura de la válvula de compresión de cruce durante una siguiente carrera de compresión del pistón de compresión.

20 8. El motor de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque durante la operación de carga completa entre 1400 RPM y 4000 RPM del cigüeñal, la relación de presión a través de la válvula de expansión de cruce es igual a o excede el valor crítico que provoca el flujo sónico inicial del gas comprimido desde el pasaje de cruce hasta el cilindro de expansión con la apertura de la válvula de  
25 expansión de cruce.



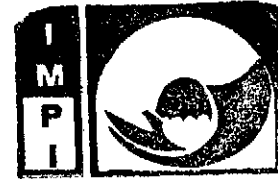
Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

9. El motor de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado porque por lo menos una porción del combustible inyectado distribuido al cilindro de expansión de cada ciclo se pasa a través de la válvula de expansión de cruce durante el flujo sónico inicial del gas comprimido a través de la válvula de expansión de cruce.

10. El motor de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el pasaje de cruce comprende por lo menos un par de pasajes de cruce separados que tienen válvulas de compresión de cruce y de expansión de cruce asociadas, por lo menos un par de pasajes de cruce dimensionados para sacar por lo menos 5.3 por ciento de energía calorífica contenida en el gas comprimido en los pasajes de cruce entre el cierre de válvula de expansión de cruce asociada durante una carrera de expansión del pistón de expansión y la apertura de las válvulas de compresión de cruce asociadas durante una siguiente carrera de compresión del pistón de compresión.

11. Un método para sobrealimentar la presión de aire de admisión por encima de 1.7 bares absolutos en un motor de ciclo dividido sin detonación, el método caracterizado porque comprende:

proporcionar un motor de ciclo dividido que tiene un cigüeñal que puede girar sobre un eje de cigüeñal del motor, un pistón de compresión recibido en forma



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

deslizable dentro de un cilindro de compresión y conectado en  
 forma operativa al cigüeñal de modo que el pistón de  
 compresión alterna a través de una carrera de admisión y una  
 carrera de compresión durante una sola rotación del cigüeñal,  
 5 un pistón de expansión recibido en forma deslizable dentro de  
 un cilindro de expansión y conectado en forma operativa al  
 cigüeñal, de modo que el pistón de expansión alterna a través  
 de una carrera de expansión y una carrera de escape durante  
 una sola rotación del cigüeñal, y un pasaje de cruce que  
 10 interconecta los cilindros de compresión y expansión, el  
 pasaje de cruce incluye una válvula de compresión de cruce  
 (XovrC) y una válvula de expansión de cruce (XovrE) que  
 definen una cámara de presión entre las misma;

sobrealimentar la presión de admisión de una carga  
 15 de aire en el cilindro de compresión durante la carrera de  
 admisión en por lo menos 1.7 bares absolutos;

comprimir la carga de aire durante la carrera de  
 compresión;

abrir la válvula de XovrC para transferir la carga  
 20 de aire hacia el pasaje de cruce; y

inyectar combustible en el pasaje de cruce  
 totalmente durante la carrera de compresión.

**12.** El método de conformidad con la reivindicación  
 11, caracterizado además porque comprende:

25 iniciar la inyección de combustible en el pasaje de





Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

cruce dentro del margen de 25 a 0 grados de ángulo de cigüeñal antes del punto muerto superior del pistón de expansión.

5 **13.** El método de conformidad con la reivindicación 11, caracterizado además porque comprende:

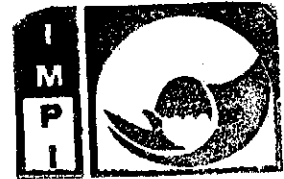
finalizar la inyección de combustible en el pasaje de cruce dentro del margen de 10 grados de ángulo de cigüeñal antes de los 10 grados de ángulo de cigüeñal después del punto muerto superior del pistón de expansión.

10 **14.** El método de conformidad con la reivindicación 11, caracterizado además porque comprende:

sacar del pasaje de cruce por lo menos 5.3 por ciento de la energía calorífica contenida en el aire comprimido retenido en el pasaje de cruce entre el cierre de la válvula de expansión de cruce durante una carrera de expansión del pistón de expansión y la apertura de la válvula de compresión de cruce durante una siguiente carrera de compresión del pistón de compresión.

20 **15.** El método de conformidad con la reivindicación 11, caracterizado además porque comprende:

enfriar activamente el pasaje de cruce para sacar una cantidad controlada de la energía calorífica contenida en el aire comprimido en el pasaje de cruce entre el cierre de la válvula de expansión de cruce durante una carrera de expansión del pistón de expansión y la apertura de la válvula



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

de compresión de cruce durante una siguiente carrera de  
compresión del pistón de compresión.

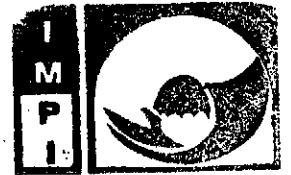
16. El método de conformidad con la reivindicación  
11, caracterizado además porque comprende:

5           construir el pasaje de cruce en por lo menos un par  
de pasajes de cruce separados dimensionados para sacar una  
cantidad controlada de la energía calorífica contenida en el  
aire comprimido en el pasaje de cruce entre el cierre de la  
válvula de expansión de cruce durante una carrera de  
10 expansión del pistón de expansión y la apertura de la válvula  
de compresión de cruce durante una siguiente carrera de  
compresión del pistón de compresión.

17. El método de conformidad con la reivindicación  
11, caracterizado además porque comprende:

15           establecer, durante la operación en plena carga y  
entre 1400 RPM y 4000 RPM del cigüeñal, una relación de  
presión a través de la válvula de expansión de cruce que es  
igual o excede el valor crítico; y

          provocar el flujo sónico inicial de aire comprimido  
20 del pasaje de cruce al cilindro de expansión con la apertura  
de la válvula de expansión de cruce.

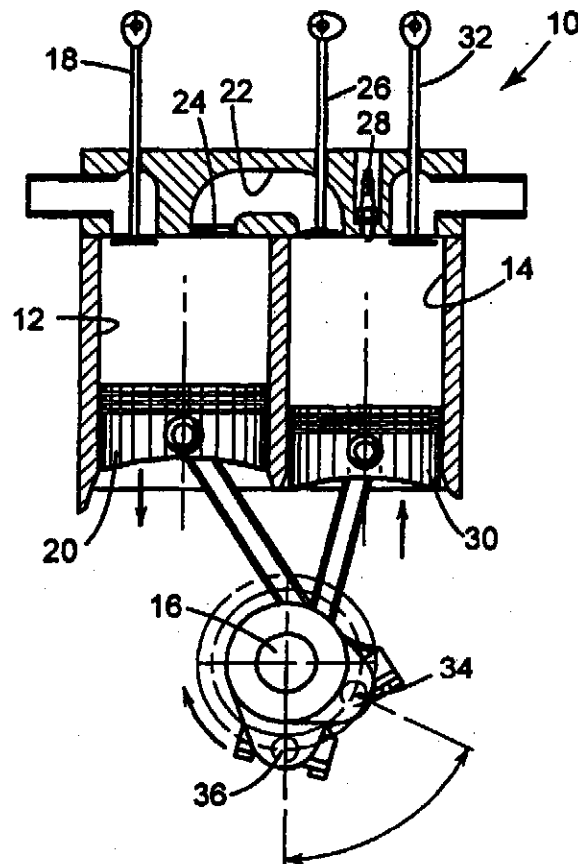


Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

### RESUMEN

Un motor tiene un cigüeñal rotativo. Un pistón de compresión se recibe dentro de un cilindro de compresión y se conecta en forma operativa al cigüeñal de modo que el pistón de compresión alterna a través de una carrera de admisión y una carrera de compresión durante una sola rotación del cigüeñal. Un pistón de expansión se recibe dentro de un cilindro de expansión y se conecta en forma operativa al cigüeñal de modo que el pistón de expansión alterna a través de una carrera de expansión y una carrera de escape durante una sola rotación del cigüeñal. Un pasaje de cruce interconecta los cilindros de expansión y compresión. El pasaje de cruce incluye una válvula de compresión de cruce y una válvula de expansión de cruce que define una cámara de presión entre las mismas. Un inyector de combustible se dispone en la cámara de presión del pasaje de cruce. La inyección de combustible del inyector de combustible en el pasaje de cruce se sincroniza para presentarse totalmente durante la carrera de compresión del pistón de compresión.

**FIG. 1**

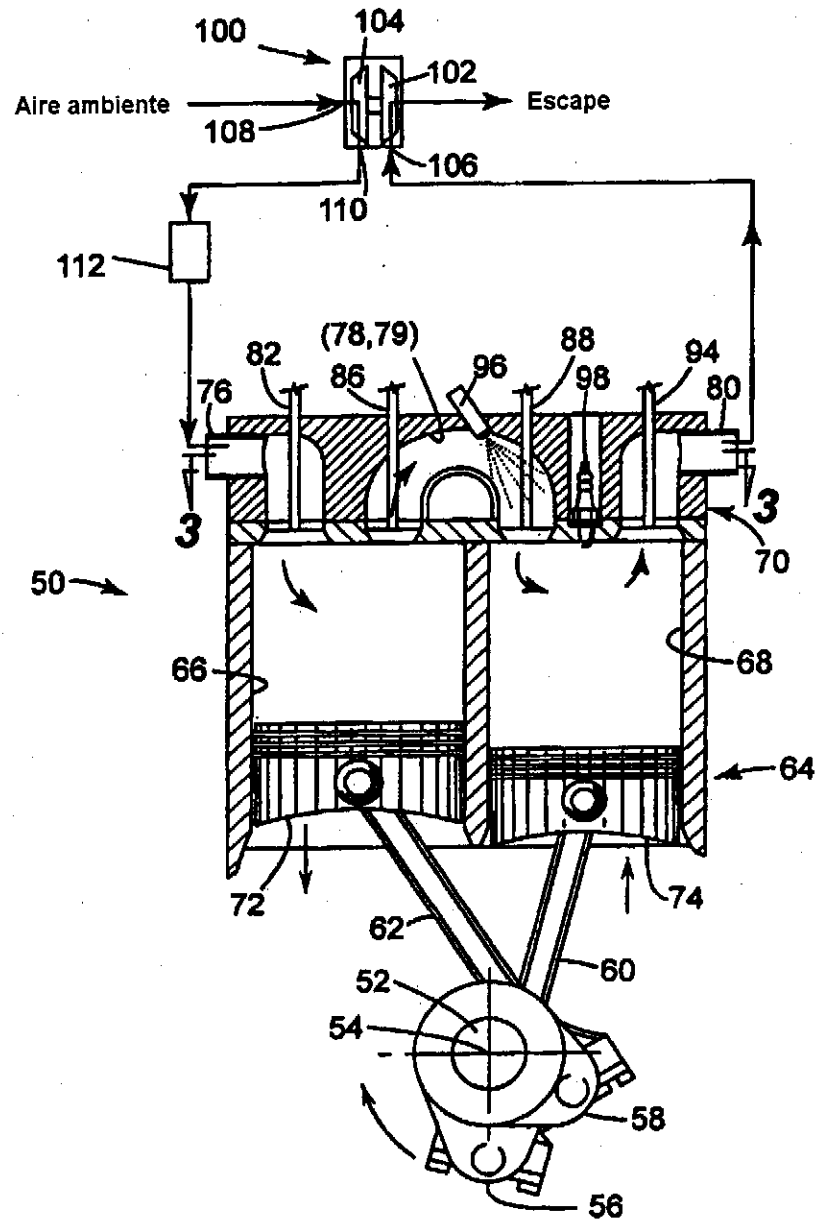




Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

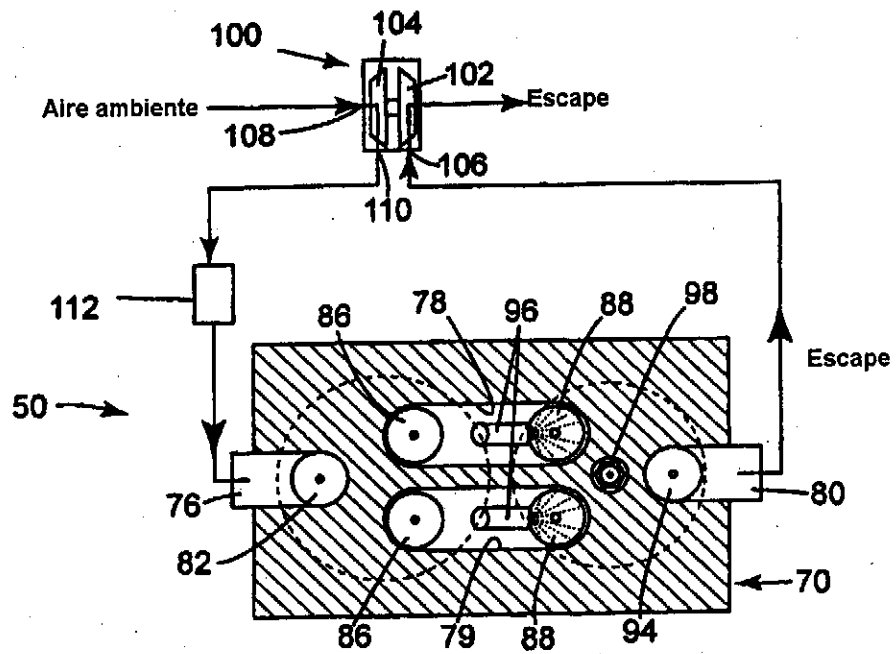
2/12

FIG. 2

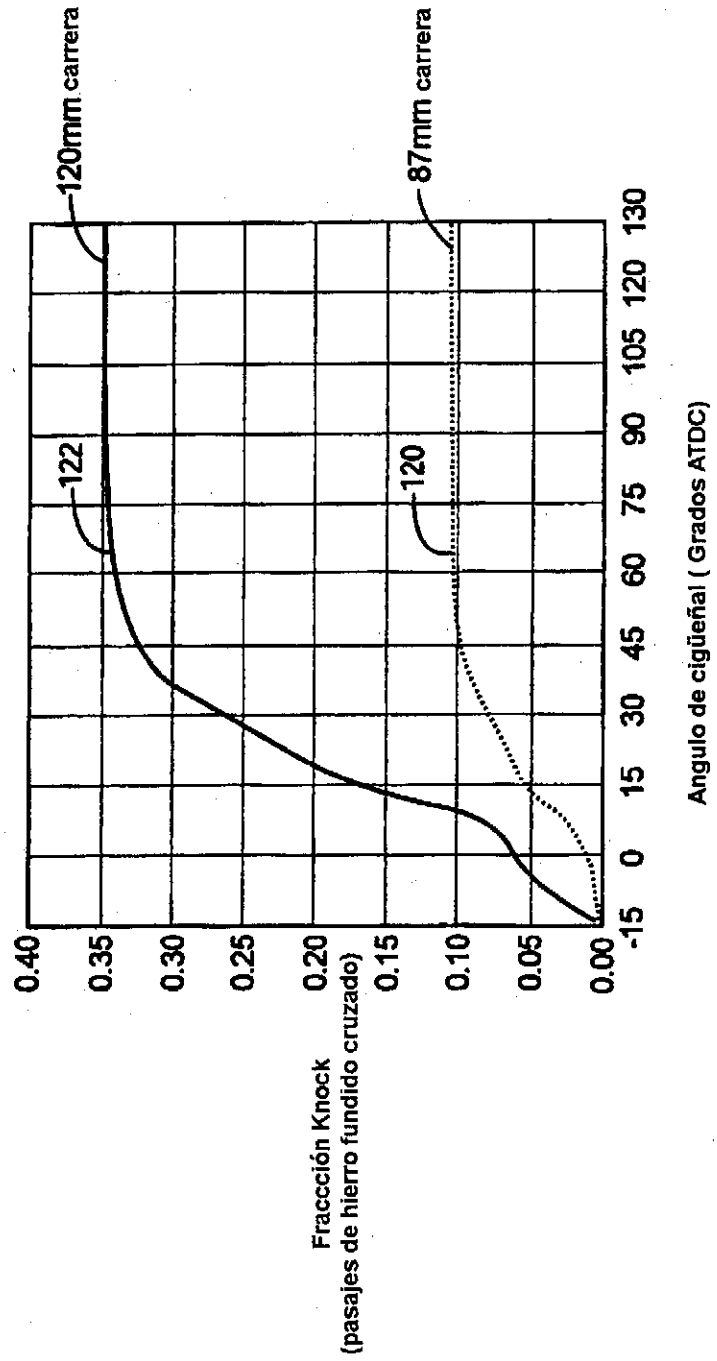


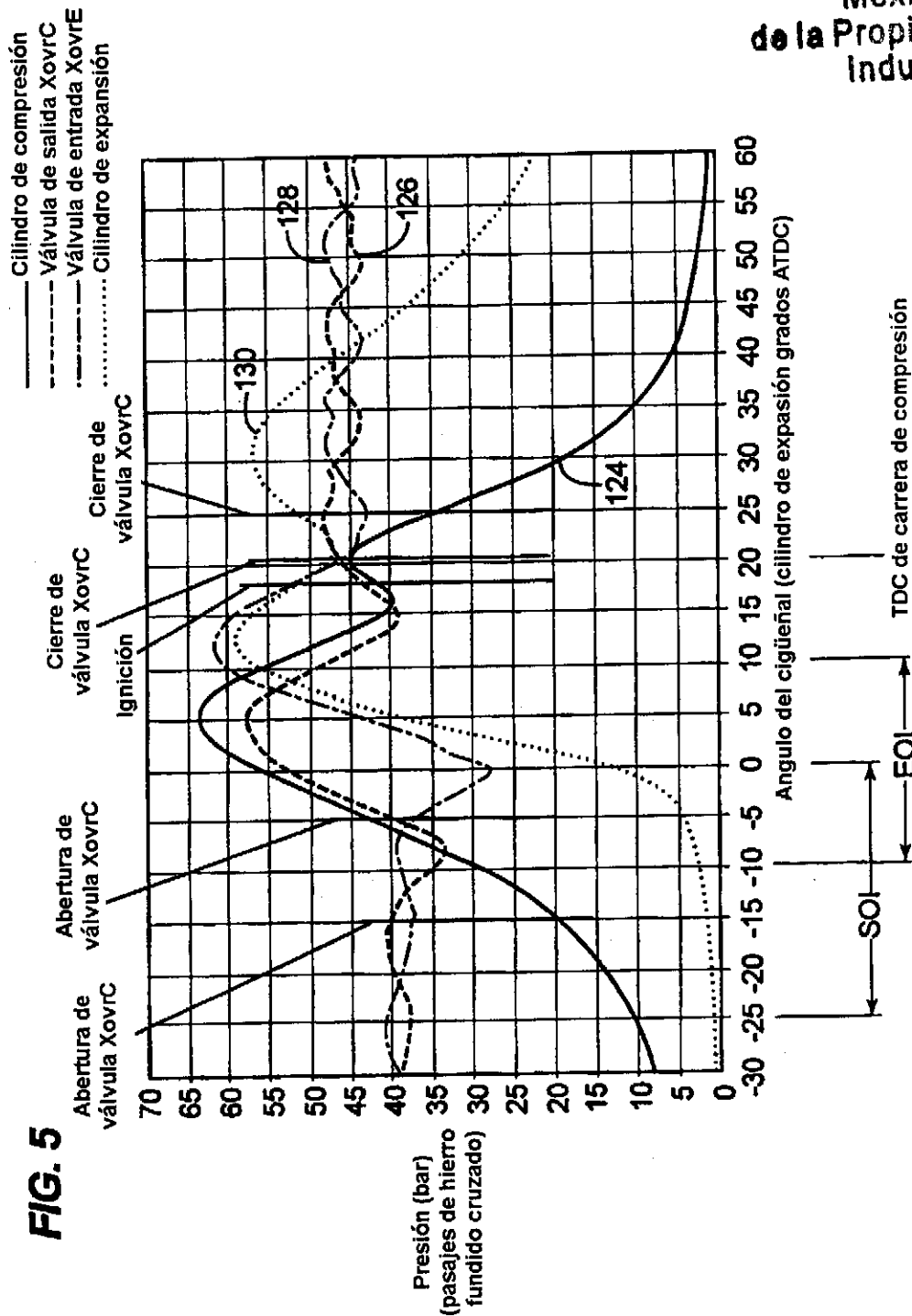
3/12

**FIG. 3**



**FIG. 4**





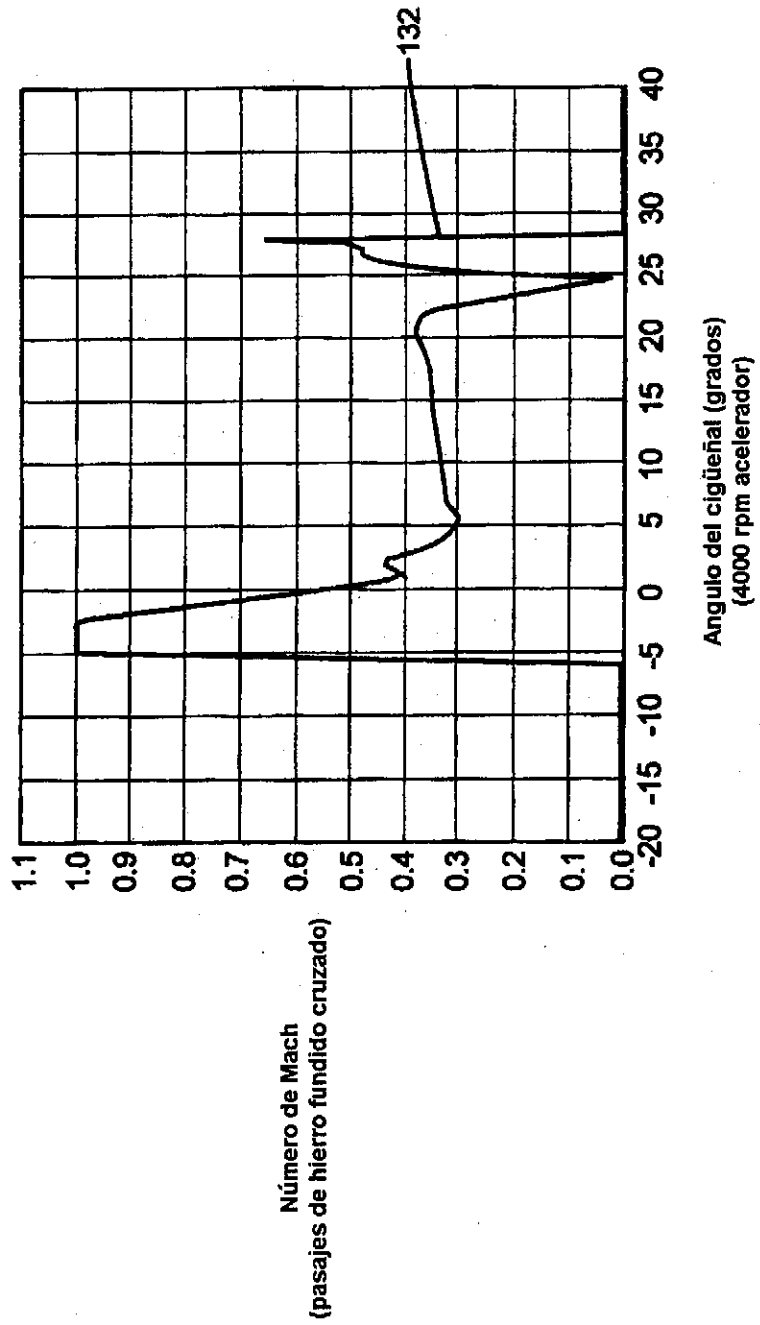




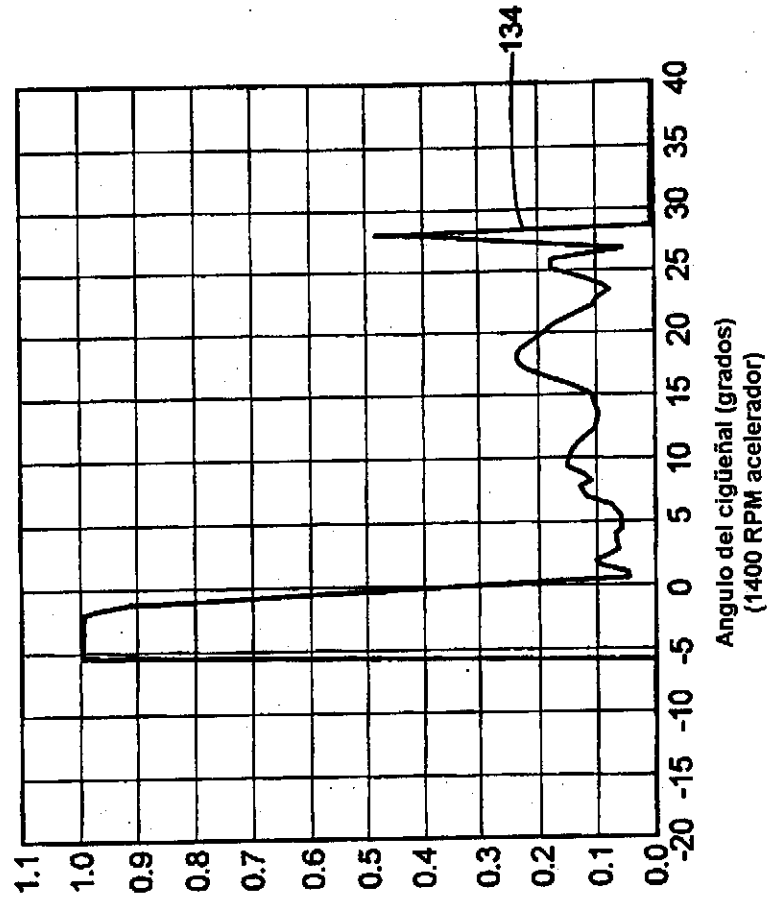
Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial

6/12

**FIG. 6**



**FIG. 7**



Número de Mach  
(pasajes de hierro  
fundido cruzado)

Angulo del cigüeñal (grados)  
(1400 RPM acelerador)



Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

8/12

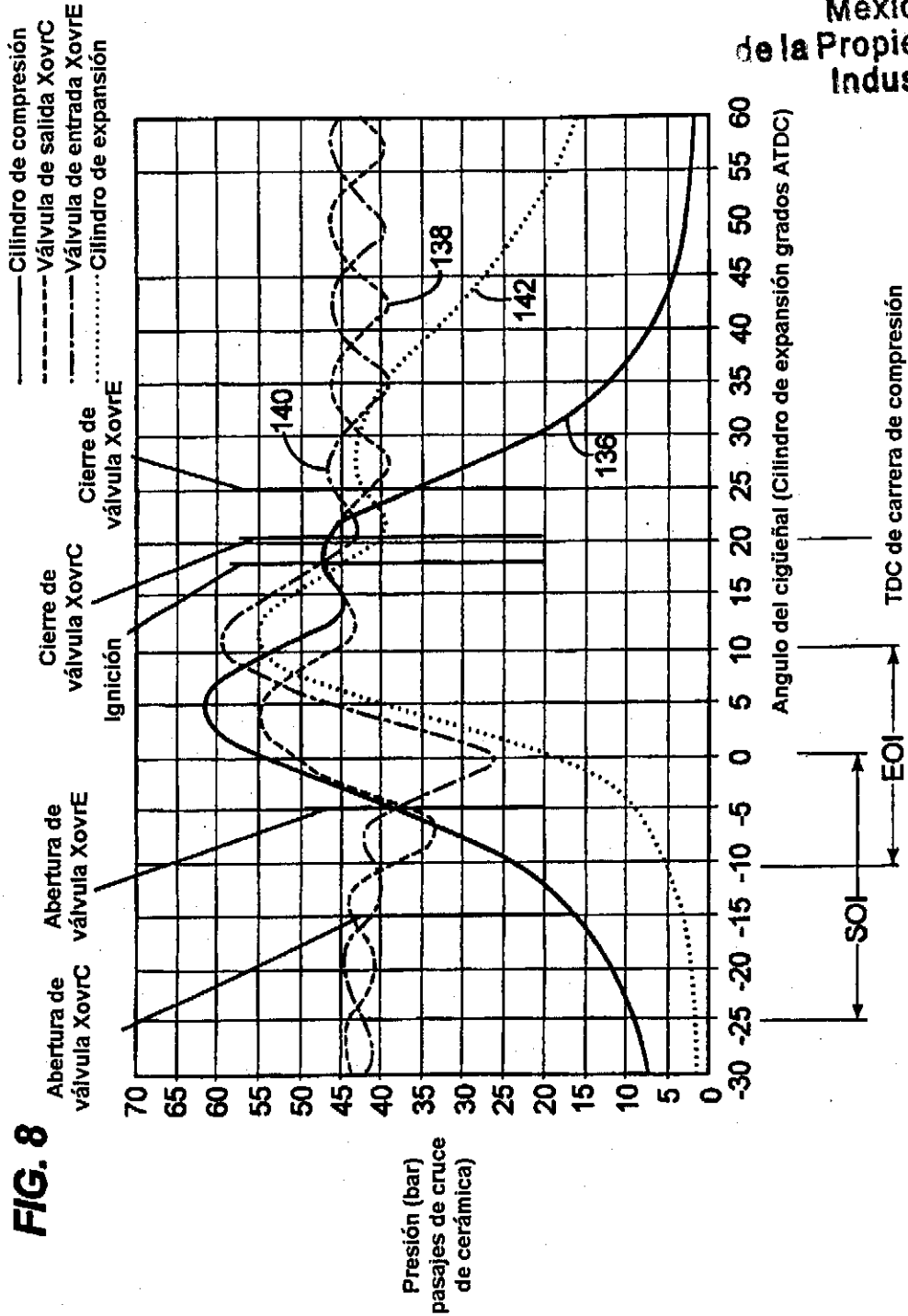
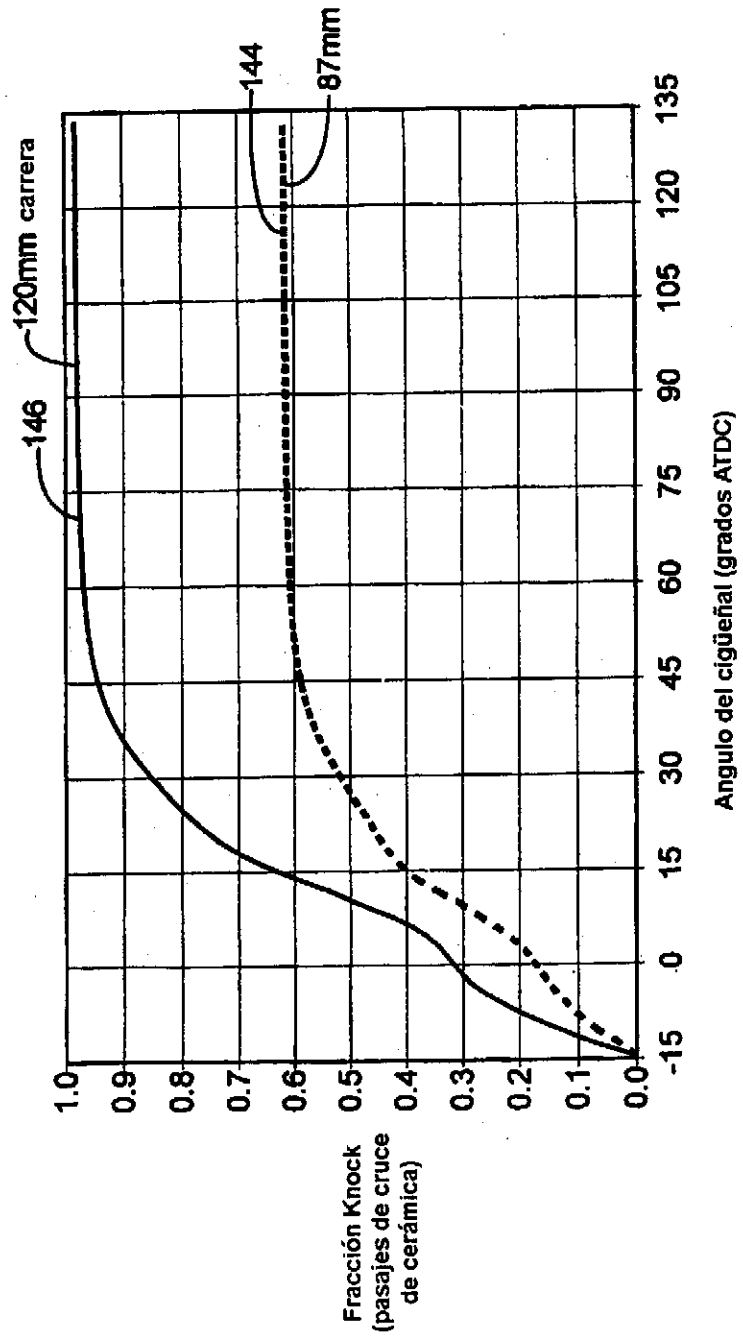




FIG. 9



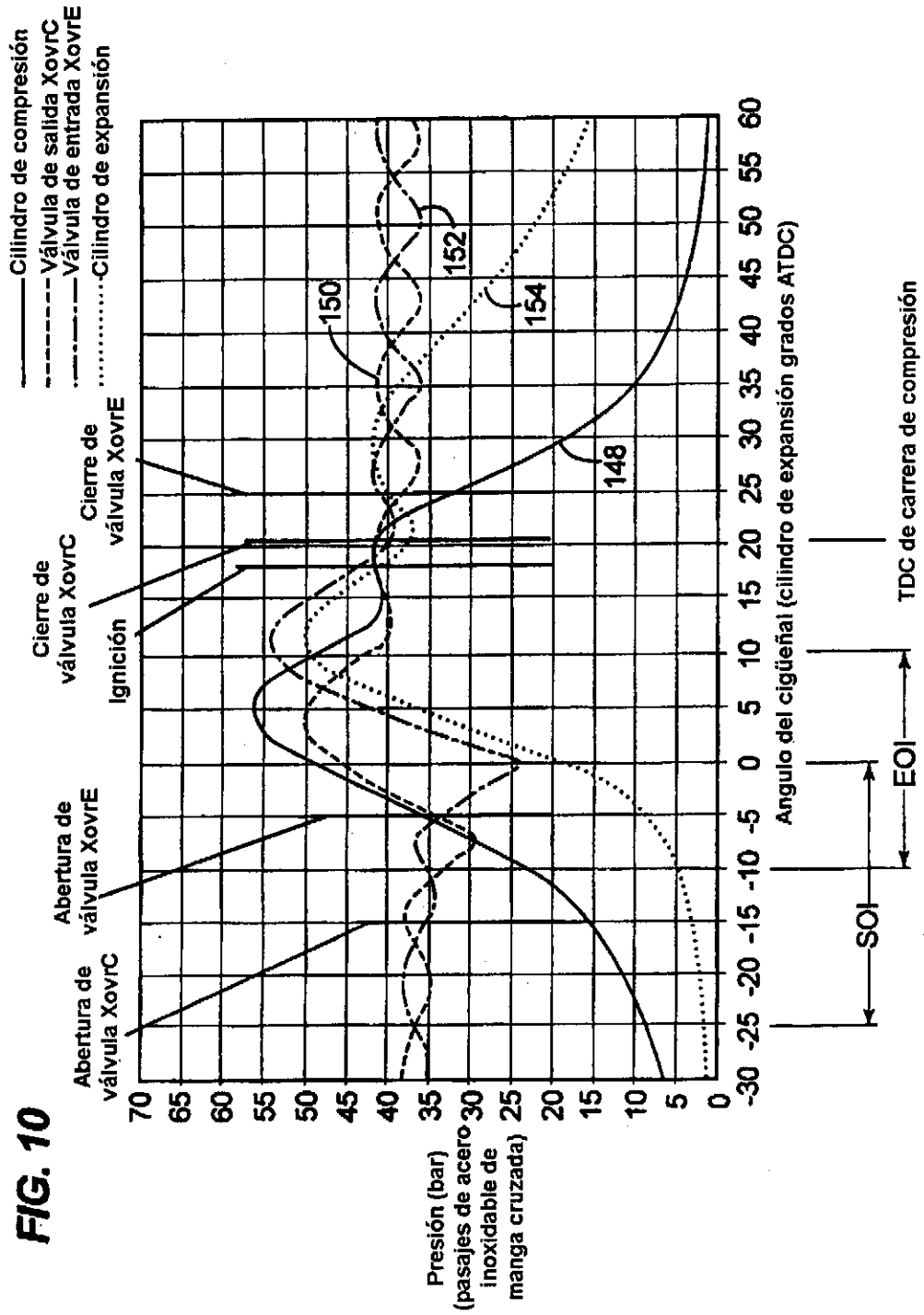
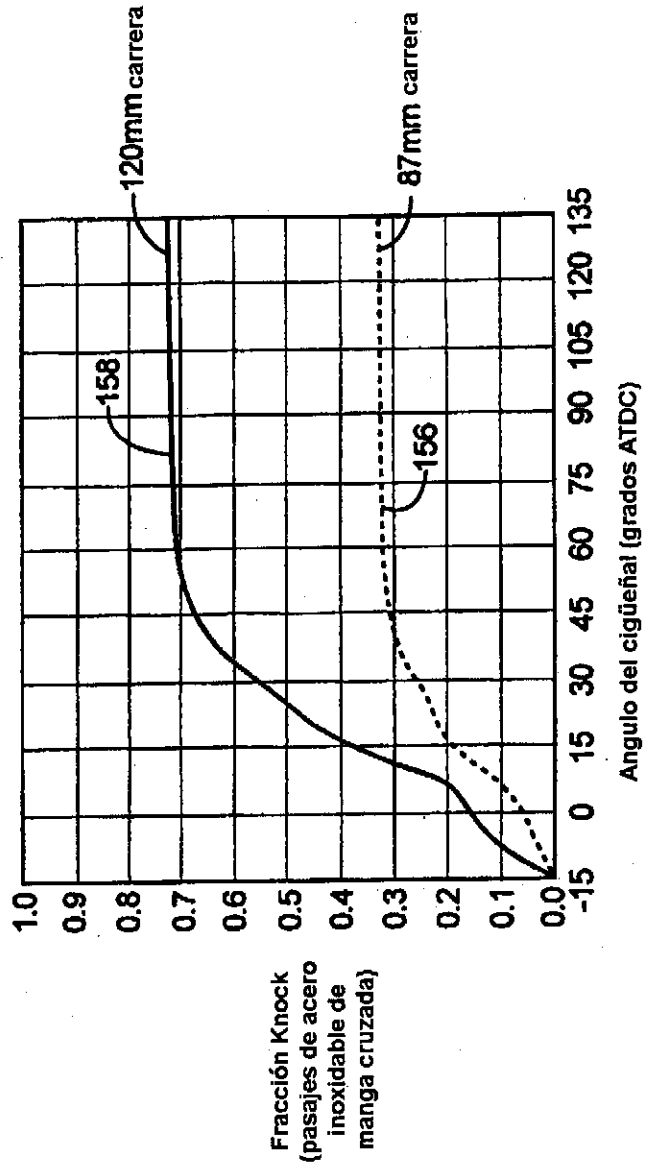
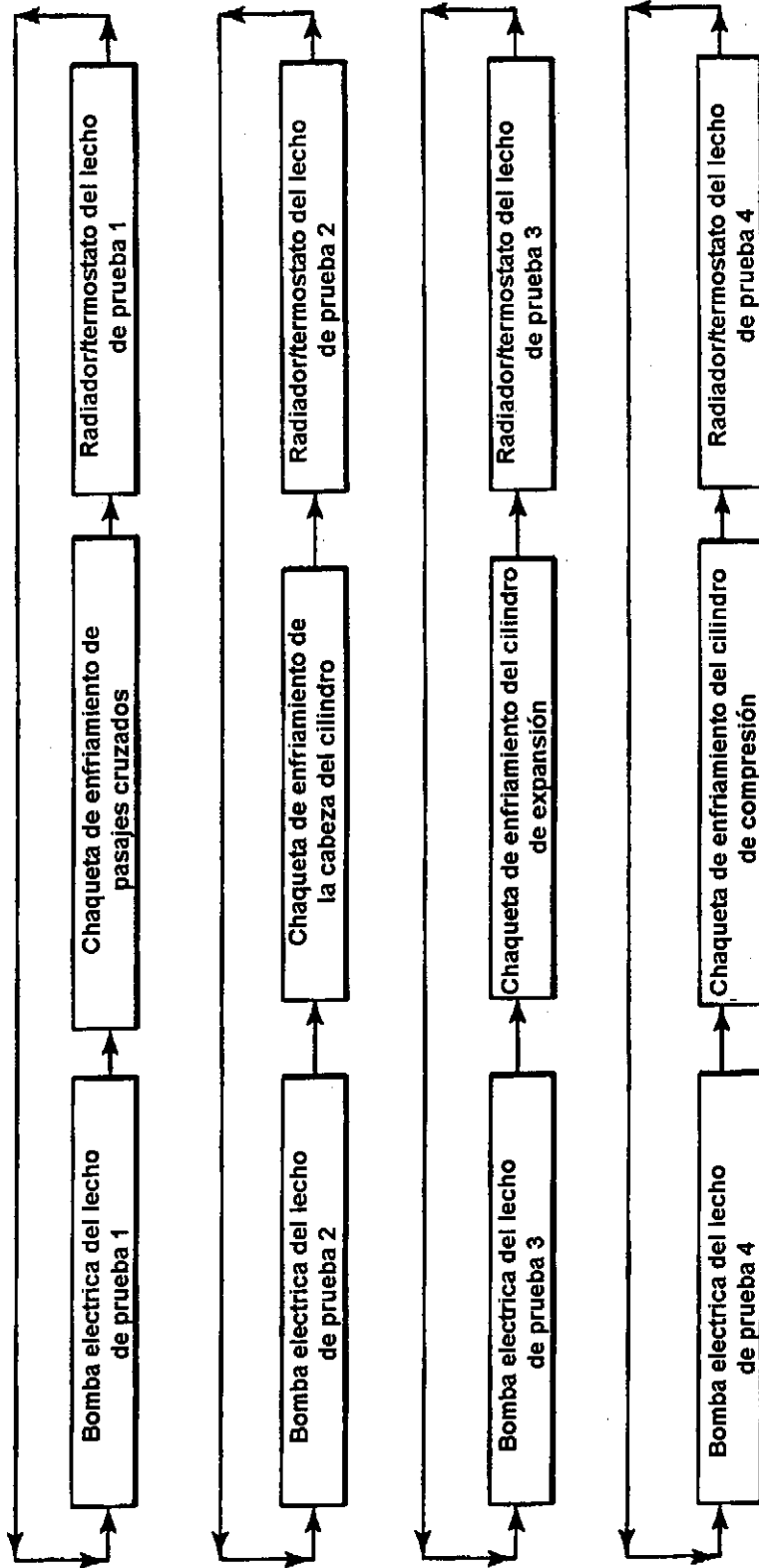




FIG. 11



**Fig. 12**



12/12



Instituto  
Mexicano  
de la Propiedad  
Industrial